

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Центральный экономико-математический институт
Российской академии наук

На правах рукописи

Дубинина Марина Геннадьевна

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИФФУЗИИ
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 5.2.2.

«Математические, статистические и инструментальные методы в экономике»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата экономических наук

Научный руководитель:
Варшавский Леонид Евгеньевич,
доктор экономических наук

Москва 2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ	16
1.1. Уровень развития ИКТ в России.....	18
1.1.1. Информационная инфраструктура России.....	19
1.1.2. Место сектора ИКТ в экономике России	22
1.1.3. Научно-исследовательская и изобретательская деятельность.....	24
1.1.4. Затраты организаций на ИКТ в России и за рубежом	26
1.1.5. Проблемы информационного неравенства в ФО РФ.....	32
1.2. Анализ подходов и методов моделирования диффузии технологий	51
1.2.1. Основные модели диффузии одной технологии и их модификации.....	53
1.2.2. Модели диффузии конкурирующих технологий	58
1.2.3. Пространственно-временные модели диффузии	60
1.3. Методология исследования	62
1.3.1. Основные источники информации	62
1.3.2. Методологическая основа исследования	63
Выводы по главе 1	65
ГЛАВА 2. ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИФФУЗИИ ИКТ	68
2.1. Моделирование диффузии отдельной технологии	69
2.1.1. Моделирование с помощью S-образных кривых.....	70
2.1.2. Моделирование диффузии ИКТ с учетом взаимодействия со смежными технологиями.....	80
2.1.3. Использование патентной статистики.....	84
2.1.4. Моделирование диффузии ИКТ с учетом их технических характеристик	88
2.2. Моделирование диффузии конкурирующих технологий.....	91
2.2.1. Сопоставление технических характеристик конкурирующих технологий	91
2.2.2. Методология анализа диффузии конкурирующих технологий	95
2.2.3. Применение разработанной методологии	103
Выводы по главе 2	112
ГЛАВА 3. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИКТ	115
3.1. Волновые модели диффузии.....	115
3.2. Распространение ИКТ во времени и пространстве	118
3.3. Спецификация модели.....	122
3.4. Моделирование диффузии ИКТ с помощью пространственно-временных моделей	126
3.4.1. Пространственно-временные модели диффузии ИКТ в ФО РФ.....	126
3.4.2. Пространственно-временные модели диффузии ИКТ по странам одного региона.....	142

3.4.3. Пространственно-временные модели диффузии ИКТ для стран с разным уровнем доходов на душу населения	157
3.5. Решение волнового уравнения специального вида и его применение для моделирования диффузии ИКТ	163
Выводы по главе 3	165
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	167
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	172
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	190
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	196
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	197
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	199

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Происходящая в последние десятилетия трансформация экономических отношений с помощью информационно-коммуникационных технологий (в первую очередь, интернета) обозначается термином «цифровизация экономики». Эта трансформация оказывает влияние на общество с разных сторон. В сфере производства «цифровизация» позволяет автоматизировать бизнес-операции, снижая при этом операционные издержки и повышая производительность труда. Цифровая трансформация улучшает качество и повышает доступность здравоохранения и образования, расширяет возможности граждан во взаимодействии с государственными органами. Однако она может привести и к негативным последствиям в виде роста киберпреступности, сокращения занятости, вредного воздействия электромагнитного излучения на здоровье людей.

Для использования всех преимуществ цифровой трансформации и снижения рисков ее негативных последствий становится актуальной разработка стратегии развития цифровой экономики на государственном уровне, которая сочетает расширение внедрения цифровых технологий не только в экономике, медицине, образовании, но и во взаимодействии между гражданами, бизнесом и государством. Важность цифровой трансформации экономики для Российской Федерации подчеркнута в принятой в июле 2017 г. программе «Цифровая экономика России». В ней обосновывается ключевая роль информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в росте валового внутреннего продукта (ВВП) страны, в повышении благосостояния и качества жизни граждан России, в повышении конкурентоспособности страны на мировом рынке [1, С. 3]. В майском указе Президента России (от 07.05.2018) в качестве одной из важнейших задач для развития цифровой экономики ставится «создание устойчивой и безопасной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры высокоскоростной передачи, обработки и хранения больших объёмов данных, доступной для всех

организаций и домохозяйств»¹. В декабре 2018 г. утвержден паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», в котором одна из главных задач состоит в создании «глобальной конкурентоспособной информационной инфраструктуры передачи, обработки и хранения данных преимущественно на основе отечественных разработок»².

Пандемия коронавируса, охватившая многие страны мира в начале 2020 г., еще в большей степени выявила важность развития ИКТ, которые смогли обеспечить связь между людьми, своевременное их информирование о мерах безопасности, позволили продолжать обучение, удаленную работу и функционирование инфраструктуры. Цифровые технологии стали важным средством для повышения устойчивости экономики и общества. В Указе Президента Российской Федерации от 21.07.2020 в рамках программы «Цифровой трансформации» ставилась цель достигнуть «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики, увеличить в 4 раза по сравнению с 2019 г. вложения в отечественные решения в сфере ИКТ³.

Введение западными странами санкций против России после февраля 2022 г. затронуло поставки 70% высокотехнологичной продукции в стране, в том числе оборудования и продукции, необходимой для разработки и производства элементной базы ИКТ.⁴ От сотрудничества с российскими компаниями отказались такие ведущие производители, как TSMC (Тайвань), AMD, Intel, IBM, Nvidia (все – США), Nokia (Финляндия) и ряд других. С помощью «параллельного импорта» есть возможность смягчить последствия санкций, однако полностью решить все проблемы в ближайшее время не удастся.

Все это делает особо актуальным исследование проблем развития ИКТ в условиях импортозамещения, в частности, прогнозирование распространения

¹ Указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» - 07.05.18.

URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/57425> (дата обращения: 26.02.2023).

² Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» - 24.12.2018. URL:

<http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M5cNL06gczMkPF.pdf> (дата обращения: 01.03.2023).

³ Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726> (дата обращения: 02.03.2023).

⁴ Эксперты оценили угрозу санкций для цифровой трансформации России. URL:

https://www.rbc.ru/technology_and_media/27/04/2022/62681d139a7947266b64cd9e (дата обращения: 02.03.2023).

новых информационных технологий в России и за рубежом, выявление ключевых факторов распространения ИКТ, количественная оценка их воздействия на скорость диффузии, на потенциал рынка новых технологий, а также анализ эффективности затрат на ИКТ на повышение уровня «цифровизации» экономики федеральных округов и отраслей экономики России.

Степень научной разработанности темы. Основу исследований по технологическому прогнозированию составляют труды Мартино Дж. (Martino J.P.), Сахала Д. (Sahal D.), Варшавского А.Е. и др. В этих работах предполагается, что технологические системы развиваются по своим законам (законам «повышения идеальности»), последовательно преодолевая этапы своего жизненного цикла, и эти этапы описываются кривыми развития показателей эффективности данных технологических систем. Другое направление исследований связано с распространением новых технологий на рынке (работы Роджерса Э. (Rogers E.), Грилихеса Ц. (Griliches Z.), Мэнсфилда Э. (Mansfield E.), Басса Ф. (Bass F.), Махайана В. (Mahajan V.), Мюллера Е. (Muller E.), Мида Н. (Meade N.), Ислама Т. (Islam T.) и др.). В этих исследованиях изучаются каналы проникновения на рынок новых технологий, процессов или товаров среди членов социальных систем.

Теоретические аспекты диффузии инноваций на современном этапе, процессы трансфера технологий и их коммерциализации рассматриваются в работах Голиченко О.Г., Секерина В.Д., Тихомировой О.Г., Айерста Ст. (Ayerst St.), Стоки Н. (Stokey N.), Палма А. (Palm A.) и других авторов.

ИКТ как наиболее изменчивые и влияющие на развитие других технологий, являются объектом исследования многих авторов. Распространение новых ИКТ на уровне стран изучается в работах Бабурина В.Л., Варшавского Л.Е., Земцова С.П., Щепиной И.Н., Фенга Г.Ч. (Feng G.C.), Кима С. (Kim S.H.), Ли С. (Lee S.), Ли Д. (Lee D.), Лина (Lin M.-S.) Турка Т. (Turk T.), Тркмана П. (Trkman P.), Золлы Дж. (Zolla G.A.) и других.

Различным аспектам развития цифровой экономики России и проблемам измерения ее влияния на экономическое развитие посвящены работы Айвазяна С.А., Афанасьева М.Ю., Кудрова А.В., Козырева А.Н., Лугачева М.И., Архиповой

М.Ю., Сиротина В.П., Нуреева Р.М., Карапаева О.В., Клейнера Г.Б., Дементьева В.Е., Попова Д.В., Тинькова С.А. Региональные особенности инновационной деятельности рассматриваются в работах Лысенковой М.А., Никоновой М.А.

Используемые в диссертации варианты моделей, называемые в физических исследованиях моделями «реакция-диффузия» («reaction-diffusion» models), были введены Фишером Р. (Fisher R.A.), Колмогоровым А.Н., Петровским И.Г., Пискуновым Н.С. для описания процессов диффузии популяции генов в биологически активных средах. Свойства таких моделей изучались в работах Мюррея Дж. (Murray J.D.), Свирежева Ю.М., Нидхэма Д. (Nidjkamp P.) и др. Для описания различных социально-экономических процессов модели этого типа нашли развитие в работах Полтеровича В.М., Хенкина Г.М., Кендлера А. (Kandler A.), Стила Дж. (Steele J.).

В отличие от приведенных выше работ в диссертации предлагается системный подход к анализу диффузии новых технологий (на примере ИКТ), основанный на исследовании конкурирующих технологий и позволяющий с помощью модификаций традиционных моделей диффузии построить сценарии распространения ИКТ в зависимости от макроэкономических показателей для стран с разным уровнем доходов населения. С использованием пространственно-временных моделей получены оценки отставания разных стран и федеральных округов (ФО) России от «полусов роста».

Цели и задачи диссертационного исследования. Целью исследования является совершенствование моделирования диффузии новых технологий на примере распространения ИКТ в федеральных округах и отраслях экономики Российской Федерации, в отдельных странах и регионах с помощью динамических и пространственно-временных моделей, анализ факторов, влияющих на скорость и масштаб распространения ИКТ для обоснованной разработки прогнозов. При этом поставлены и решены следующие задачи:

разработать индекс «цифровизации» для отраслей и федеральных округов (ФО) Российской Федерации с целью исследования эффективности затрат на ИКТ, выявить взаимосвязь между затратами на ИКТ и индексом «цифровизации»;

разработать модификации существующих моделей с учетом макроэкономических факторов и технико-экономических характеристик новых технологий, построить прогноз распространения отдельных технологий на краткосрочный период;

определить факторы, влияющие на скорость и масштаб распространения новых информационных технологий, и произвести их количественную оценку;

исследовать свойства и обосновать возможность применения пространственно-временных моделей для описания диффузии ИКТ во времени и пространстве;

построить приближенное решение для пространственно-временной модели, в которой динамическая составляющая описывается нелинейной функцией, а в качестве «пространственной» характеристики процесса диффузии рассматриваются различные социально-экономические показатели стран и регионов;

с помощью построенного приближенного решения выявить ключевые факторы, влияющие на скорость и масштаб распространения ИКТ по ФО РФ, странам одного региона и странам с разным уровнем доходов населения.

Область исследования

Настоящее исследование соответствует следующим разделам паспорта научной специальности 5.2.2. «Математические, статистические и инструментальные методы в экономике»:

2. Типы и виды экономико-математических и эконометрических моделей, методология их использования для анализа экономических процессов, объектов и систем.

3. Разработка и развитие математических и эконометрических моделей анализа экономических процессов (в т.ч. в исторической перспективе) и их прогнозирования.

Объектом исследования являются отрасли экономики и федеральные округа Российской Федерации, регионы мира и группы стран, характеризующиеся разным уровнем экономического развития.

Предмет исследования – показатели распространения новых ИКТ, основные экономические показатели сектора ИКТ Российской Федерации, ее отраслей экономики и федеральных округов, а также развитых и развивающихся стран мира.

Теоретической и методологической основой исследования являются труды отечественных и зарубежных авторов, посвященные технологическому прогнозированию, моделированию показателей распространения технологий, различным аспектам развития цифровой экономики, анализу свойств пространственно-временных моделей, эконометрическому моделированию, многомерному статистическому анализу, в частности, методам анализа временных рядов и панельных данных.

Инструментальной основой диссертационного исследования являются методы системного и экономического анализа, экономико-математического и статистического моделирования, дифференциального и разностного исчисления, в частности, метод сингулярных возмущений, приближение дифференциальных уравнений разностными. Для построения и оценки параметров моделей использовалось большое количество разнообразных методов, в частности методы анализа панельных данных, нелинейные методы оценивания, методы прогнозирования на основе моделей временных рядов, факторных регрессионных моделей и другие. Реализация указанных методов была осуществлена в компьютерных пакетах: EViews, Microsoft Excel, Statistica.

Информационную базу исследования составляют материалы Росстата, («Российский статистический ежегодник», «Регионы России. Социально-экономические показатели», выборочное федеральное статистическое наблюдение по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей, итоги федерального статистического наблюдения по ф. № 3-информ «Сведения об использовании информационных и коммуникационных технологий и производстве вычислительной техники, программного обеспечения и оказании услуг в этих сферах», мониторинг развития информационного общества в Российской

Федерации), сборники НИУ ВШЭ в партнерстве с Минцифры России и Росстатом («Индикаторы цифровой экономики», «Цифровая экономика»), статистические базы данных Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Европейского союза (Eurostat); отчеты Национального научного фонда США (NSF), базы данных Всемирного банка (World Bank), Конференции ООН по торговле и развитию (UNSTAD), Международного союза электросвязи (ITU), патентные данные Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO).

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. Для экономического анализа цифровой дифференциации ФО и отраслей экономики Российской Федерации разработан индекс «цифровизации», учитывающий степень распространения цифровых технологий на предприятиях и их влияние на экономическое развитие, а также влияние затрат на ИКТ в целом и их отдельных статей на рост индекса.
2. Разработаны модификации традиционных динамических моделей диффузии, с помощью которых построены сценарии распространения ИКТ в странах с разным уровнем доходов населения.
3. Предложен подход к анализу и прогнозированию распространения новых ИКТ с учетом сопутствующих и конкурирующих технологий, который включает следующие последовательные этапы: анализ распространения технологий с учетом и без учета взаимного влияния; анализ характера взаимодействия технологий с помощью модифицированных моделей конкуренции (с учетом уровня развития сопутствующих технологий, с учетом патентной деятельности); анализ факторов, оказывающих влияние на скорость распространения технологий, с помощью эконометрических моделей.

4. Разработан пространственно-временной подход к моделированию диффузии ИКТ, предложен двухшаговый метод спецификации параметров волнового уравнения.
5. Приближенное решение пространственно-временной модели диффузии технологий применено для выявления основных факторов, влияющих на скорость распространения мобильной связи среди населения в ФО РФ, а также цифровых технологий в организациях ФО.
6. Приближенное решение волнового уравнения применено для анализа диффузии ИКТ на примере стран одного региона, групп стран с разным уровнем доходов населения

Научная новизна результатов исследования

1. Разработан мультипликативный комплексный показатель - индекс «цифровизации», который оценивает уровень распространения цифровых технологий в отраслях экономики и ФО России. Данный показатель, в отличие от уже существующих и оценивающих распространение ИКТ для населения, характеризует распространение ИКТ в организациях за период 2003-2021 гг. и позволяет выделить группы ФО по отношению к среднероссийским показателям, оценить эффективность затрат на ИКТ в целом и отдельных статей этих затрат для роста индекса цифровизации.

2. Разработан ряд модификаций используемых на практике моделей диффузии инноваций. Эти модификации, в отличие от базовых моделей, учитывают влияние ряда макроэкономических факторов и технико-экономических показателей новых ИКТ, что позволяет разрабатывать сценарии распространения технологий в зависимости от этих показателей для разных субъектов исследования.

3. Разработан комплексный подход к моделированию диффузии конкурирующих технологий, включающий ряд последовательных этапов: моделирование без учета и с учетом конкурирующих технологий, учет преимуществ одной технологии по сравнению с другими и степени

удовлетворения потребностей пользователей, учет влияния сопутствующих и взаимодействующих технологий, учет зависимости распространения технологий от уровня экономического развития исследуемых субъектов. Этот подход позволяет учитывать влияние как конкурирующих, так и сопутствующих и взаимодействующих технологий, что не может быть учтено в базовых моделях диффузии.

4. Разработана модель пространственно-временной диффузии ИКТ, основанная на использовании варианта модели «реакция-диффузия», применяемой в биологии, физике и социологии. В отличие от традиционно используемой для описания динамики процесса логистической функции, обосновано применение модели Басса для временной составляющей диффузии ИКТ, показано существование решения пространственно-временной модели в виде бегущей волны, на основе сингулярной теории возмущений получено приближенное решение для этой модели.

5. Полученное в диссертации приближенное решение пространственно-временной модели диффузии ИКТ было применено для исследования распространения интернета, широкополосного доступа в интернет, фиксированной и мобильной связи, облачных вычислений в ФО и отраслях экономики Российской Федерации, на примере стран одного региона, а также в группе стран с разным уровнем дохода населения, в зависимости от различных макроэкономических показателей, выступающих в качестве «пространственных» характеристик процесса диффузии. Получены оценки скорости волны для каждой технологии и каждой группы субъектов.

6. В отличие от экстраполяционных моделей, учитывающих только фактор времени, разработанная пространственно-временная модель позволила выявить макроэкономические показатели, в наибольшей степени влияющие на скорость и масштабы распространения ИКТ для исследуемых субъектов, сравнить скорости распространения различных технологий, а также оценить время, необходимое отстающим субъектам для достижения текущего уровня регионов-лидеров. По результатам моделирования с помощью построенных

моделей диффузии цифровых технологий в организациях ФО России проведена оценка влияния доли затрат на ИКТ и на НИОКР в ВРП ФО на время отставания показателей распространения технологий в ФО от региона-лидера.

Теоретическая значимость исследования состоит в разработке системного подхода к анализу влияния ИКТ на экономический рост по отраслям экономики и федеральным округам Российской Федерации на основе индекса их «цифровизации», в модификации моделей диффузии технологий с учетом их технико-экономических показателей, а также социально-экономических индикаторов развития субъектов исследования, в обосновании применимости пространственно-временных моделей диффузии для описания процессов распространения новых ИКТ, в выявлении основных факторов, влияющих на скорость и масштабы их распространения.

Практическая значимость работы заключается в том, что она может быть использована при прогнозировании распространения ИКТ и других новейших технологий, а также при принятии решения о государственной поддержке их развития и распространения.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования были использованы в проекте РФФИ «Разработка методологии анализа и прогнозирования показателей развития и распространения передовых технологий на этапе цифровизации и четвертой промышленной революции» (20-010-00065 А), а также были представлены в качестве докладов на Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование» (г. Пущино: 2017, 2019, 2021 гг., Дубна: 2020 г.).

Публикации. Основные положения и выводы по теме диссертационного исследования опубликованы в 22 печатных работах общим объемом 19,2 п. л. (вклад автора - 18,2 п. л.), из которых 9 статей общим объемом 10,4 п. л. (из них авторский вклад 9,4 п. л.) опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации основных результатов научных исследований.

Структура и объем диссертационного исследования. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 167 российских и зарубежных источников, а также пяти приложений. Основной текст работы изложен на 171 странице, включает 59 таблиц и 25 рисунков.

В **первой главе** диссертации проводится анализ уровня развития ИКТ в России, введен показатель «цифровизации» отраслей экономики и федеральных округов Российской Федерации, рассмотрена зависимость между введенным индексом «цифровизации» и затратами на ИКТ организаций, проведен анализ существующих моделей распространения ИКТ. Обосновывается выбор методов и моделей для оценки распространения ИКТ в федеральных округах и отраслях экономики Российской Федерации.

Во **второй главе** разработаны и применены на практике динамические модели диффузии ИКТ в случае единственной технологии на рынке, а также в условиях конкуренции между технологиями на примере распространения интернета, широкополосного доступа в интернет (в т.ч. фиксированного и мобильного), облачных вычислений. Предложено несколько модификаций традиционных моделей диффузии с учетом влияния инвестиций в развитие телекоммуникационной инфраструктуры, а также с учетом технико-экономических характеристик технологий.

В **третьей главе** разработана пространственно-временная модель диффузии ИКТ, в которой процесс распространения во времени описывается моделью Басса, в качестве «пространственной» характеристики исследованы различные социально-экономические показатели субъектов исследования; обосновано существование бегущей волны для такого уравнения, рассчитано его приближенное решение, после чего это приближенное решение применено для описания диффузии ИКТ федеральных округов Российской Федерации, стран одного региона и стран с разным уровнем доходов населения.

Использованные сокращения

РФ – Российская Федерация

ФО – федеральный округ

ЦФО – Центральный ФО

СЗФО - Северо-Западный ФО

ЮФО - Южный ФО

СКФО - Северо-Кавказский ФО

ПФО - Приволжский ФО

УФО - Уральский ФО

СФО - Сибирский ФО

ДФО - Дальневосточный ФО

ИКТ – информационно-коммуникационные технологии

ШДИ – широкополосный доступ в Интернет

ФШДИ – фиксированный ШДИ

МШДИ – мобильный ШДИ

2G-5G – технологии мобильной связи второго-пятого поколения

ППТ – передовые производственные технологии

ПО – программное обеспечение

АТР – Азиатско-Тихоокеанский регион

ППС - паритет покупательной способности

ПИИ – прямые иностранные инвестиции

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

Последние два десятилетия ознаменовались быстрым распространением ИКТ во всем мире. Все стороны развития общества все больше зависят от создания, распространения, накопления, обработки и применения информации и знаний. ИКТ способствуют важным нововведениям в производственных процессах и, следовательно, ведут к более производительному и более эффективному использованию факторов производства, позволяют внедрять новые бизнес-модели и методы управления, создавать новые продукты и содействовать более легкому их проникновению на мировой рынок.

Важной характеристикой ИКТ является обеспечение быстрой и надежной связи, предоставление возможности принятия решений, сбора данных, вычисления и контроля на расстоянии. ИКТ позволяют более эффективно обмениваться информацией по всем звеньям цепочки поставок, всем компонентам экономических производственных связей - от сырья до конечных товаров и услуг, от внутренней торговли до международных сделок, более гибко и динамично трансформировать все аспекты создания и использования ресурсов, коренным образом перестроить экономику, способствовать росту благосостояния граждан во всем мире.

Прогресс в области ИКТ вызвал множество структурных изменений в экономике, привел к росту глобализации и расширению мировой торговли. ИКТ играют важную роль в развитии каждого сектора экономики, способствуют инновационному и технологическому развитию. В настоящее время формируется новый технологический уклад, названный «цифровой экономикой» (digital economy). Согласно [2], цифровая экономика – это часть общей экономической продукции, полученной за счет цифровых навыков, цифрового оборудования (аппаратного и программного обеспечения, коммуникационного оборудования) и цифровых товаров и услуг, используемых в производстве. Новые технологии ИКТ

развиваются быстрыми темпами и обеспечивают рост в таких ключевых отраслях, как финансы, энергетика, транспорт, образование, здравоохранение и торговля. Поскольку эти технологии становятся более дешевыми и доступными, они могут существенно влиять на экономический рост, рынок труда и распределение доходов. При этом реализация потенциальных преимуществ ИКТ для экономического развития зависит от многих факторов, в том числе от доступности базовой инфраструктуры ИКТ, степени развитости научных исследований, благоприятных условий для ведения бизнеса и многих других.

Важность ИКТ стала особенно очевидной с началом пандемии коронавируса, когда с их помощью осуществлялось функционирование всей инфраструктуры, при введении жесткого карантина или других мер социального дистанцирования оказались возможными удаленная работа и дистанционное образование, широко распространились цифровые бизнес-модели, электронная торговля.

Большую роль сыграли ИКТ в повышении осведомленности общественности о мерах профилактики, диагностики и лечения COVID-19. Во всем мире был предпринят ряд инициатив на основе ИКТ: например, разработка информационной панели или веб-портала для предоставления обновленного статистического отчета о коронавирусе, цифровых интерактивных карт, информации для экстренного вызова или номеров горячих линий [3].

Произошло ускорение цифровизации во всем мире. Интернет-трафик в некоторых странах вскоре после вспышки коронавируса увеличился на 60%. Однако при этом растущее использование цифровых решений вызвало опасения по поводу конфиденциальности данных и цифровой безопасности [4].

Пандемия коронавируса приблизила будущее, в котором рабочие места, образование, здоровье и многое другое могут в большей степени зависеть от цифровых технологий. В то же время обеспечение повсеместного и безопасного цифрового доступа становится главным условием эффективного функционирования мировой экономики.

1.1. Уровень развития ИКТ в России

Особая роль «цифровой экономики» в развитии стран подчеркивается принятием ряда программ на государственном уровне. Так, в России в 2019 г. утвержден паспорт национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации», который в качестве своих целей ставит «создание устойчивой и безопасной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры высокоскоростной передачи, обработки и хранения больших объемов данных, доступной для всех организаций и домохозяйств», «внедрение цифровых технологий и платформенных решений в сферах государственного управления и оказания государственных услуг, в том числе в интересах населения и субъектов малого и среднего предпринимательства, включая индивидуальных предпринимателей»⁵.

В ходе реализации этой программы предполагается к 2025 г. довести долю домохозяйств, имеющих ШДИ (не менее 100 Мбит/с), до 97% (в 2021 г. – 82,6% домашних хозяйств имели доступ в интернет не менее 256 кбит/сек [5]), довести до 100% использование широкополосного доступа к сети Интернет органами государственной власти и местного самоуправления, образовательными учреждениями и лечебно-профилактическими организациями. Планируется увеличить удельный вес внутренних затрат на НИОКР сектора ИКТ в общем объеме внутренних затрат на исследования и разработки с 3,8% в 2017 г. до 4,3% в 2024 г. В целях обеспечения единства, устойчивости и безопасности информационно-телекоммуникационной инфраструктуры РФ предполагается сократить долю внутреннего сетевого трафика, маршрутизируемого через иностранные серверы, с 50% в 2018 г. до 10% в 2024 г., увеличить долю субъектов информационного взаимодействия, использующих стандарты безопасного информационного взаимодействия в киберфизических системах и в части интернета вещей, с 10% в 2018 г. до 90% в 2024 г.

⁵ Паспорт национального проекта Национальная программа "Цифровая экономика российской федерации". (утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. N 7)

Для достижения поставленных целей необходимы целенаправленные действия по развитию ИКТ-инфраструктуры, подготовке квалифицированных кадров цифровой экономики, вложение значительных средств в ИКТ.

1.1.1. Информационная инфраструктура России

Информационной инфраструктурой страны называют совокупность организационных структур, которые обеспечивают функционирование и развитие информационного пространства страны, а также средств информационного взаимодействия, предоставляющих доступ граждан и организаций к информационным ресурсам⁶. ИТ-инфраструктура включает в себя также телекоммуникационные услуги, сервисы управления данными, организационные структуры и информационные центры.

По уровню развития ИКТ в 2017 г., согласно рейтингу Международного телекоммуникационного союза (International Telecommunication Union, ITU), РФ занимала 45-е место в мире (в 2016 г. – 43 место) [6]. Рейтинг страны определялся по трем составным показателям: индексу доступности ИКТ, индексу использования ИКТ и индексу готовности квалифицированных кадров. Начиная с 2018 г. этот индекс более не рассчитывался. В сборнике «Индикаторы цифровой экономики» приводятся различные международные рейтинги развития ИКТ, где Россия в 2020 г. занимала 42-48 места («Индекс готовности к сетевому обществу», «Всемирный рейтинг цифровой конкурентоспособности», «Глобальный индекс сетевого взаимодействия» за 2020 г., [7]), и эти места соответствуют общему рейтингу России за тот же год в глобальном индексе конкурентоспособности (43 место) и глобальном инновационном индексе (46).

1.1.1.1. Региональные различия инфраструктуры ИКТ в России

⁶ Колин К.К. Фундаментальные основы информатики: социальная информатика: Учебное пособие для вузов.– М.: Академический Проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2000.– 350 с.

Доступность ИКТ во многом определяется наличием ШДИ. В целом в России доля домохозяйств, имевших ШДИ, выросла с 66,8% в 2015 г. до 82,6% в 2021 г. (табл.1.1). При этом значительно увеличились показатели СКФО и ДВФО. Если в 2015 г. они отставали от среднероссийского показателя, то в 2021 г. превзошли его (83,2% и 83,1% соответственно).

Таблица 1.1 - Доля домашних хозяйств, имеющих широкополосный доступ к сети Интернет, в общем числе домашних хозяйств, %

ФО	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
РФ	66,8	70,7	72,6	73,2	73,6	77	82,6
ЦФО	67,4	72,6	74,2	74,9	76,5	79,6	84,7
СЗФО	76,7	77	74,9	76,5	76,6	79,3	82,4
ЮФО	69,7	74,9	74,5	73,3	72,7	76,6	85,3
СКФО	60,5	61,5	69,3	65,4	68,1	75,8	83,2
ПФО	65,4	68,6	71,7	73,1	71,8	75,1	79,7
УФО	66	72,5	73,6	75,4	73,5	78,3	82,4
СФО	63,4	64,7	67,2	69,5	71,1	72,8	80,4
ДВФО	59,1	67,9	72,3	71,2	71,7	75,7	83,1

Источник: рассчитано автором по данным Росстата [8].

За 2011-2020 гг. в России существенно выросла доля пользователей со скоростью доступа в интернет от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с (с 0,7% в 2011 г. до 42,1% в 2020 г., табл.1.2). По данным Opensignal [9], скорость загрузки МШДИ в России в конце 2021 г. составляла 17,5 Мб/с (60 место в мире), а по данным Speedtest в ноябре 2023 г. – 23,97 (102 место)⁷.

Таблица 1.2 - Структура доступа в сеть Интернет в России по скорости соединения, % (рассчитано по данным [10, 7])

Скорость доступа	2011	2015	2017	2018	2019	2020
от 256 Кбит до менее 2 Мбит/сек	30,3	10,1	6,8	6,3	6,7	5,5
от 2 до менее 10 Мбит/сек	48,4	25,3	19,5	16,5	13,9	12,5
от 10 Мбит/сек до менее 100 Мбит/сек	20,6	58,5	57,5	54,6	45,5	39,8
от 100 Мбит/сек до менее 1 Гбит/сек	0,7	6,0	16,1	22,5	33,9	42,1
свыше 1 Гбит/сек	0,01	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
Итого	100	100	100	100	100	100

⁷ Speedtest Global Index. URL: <https://www.speedtest.net/global-index> (дата обращения: 14.01.2024)

По ФО РФ наблюдается выравнивание скорости ФШДИ. Если в 2015 г. только в трех ФО более половины подключений имели скорость от 20 Мб/сек, то в 2019 г. во всех округах доля этой скорости превышала 59% (табл. 1.3).

Таблица 1.3 - Динамика доли скорости подключения ФШДИ от 20 Мб/сек и выше по ФО РФ, %

ФО	2015	2016	2017	2018	2019
РФ в целом	48,6	55,6	60,3	64,9	70,3
ЦФО	61,7	68,6	71	79,7	82,8
СЗФО	45,6	54,6	56,5	61,8	65,0
ЮФО	41,7	44,9	51,8	56,1	66,4
СКФО	29,5	33,4	52,6	56,9	61,3
ПФО	35,9	45,5	48,3	49,6	59,2
УФО	56,2	60,1	67,5	68,5	71,7
СФО	51,7	57	60,9	58,9	63,0
ДВФО	29,3	37,6	54,4	65,3	70,6

Источник: рассчитано по данным [11]

В то же время остается определенный разрыв между регионами по скорости подключения. Так, например, в СЗФО и ПФО в 2019 г. отмечалась наибольшая доля самой низкой скорости подключения ФШДИ до 5 Мбит/с среди других ФО (22,4% и 21,1% соответственно). Для сравнения – в ЦФО эта доля составляла 7,1%, в среднем по России – 14,1%. Если в ЦФО доля подключения со скоростью от 100 Мб/сек и выше составляла в 2019 г. 42,5%, то в ДВФО – 15,8%.

За период 2011-2022 гг. абонентская плата за доступ в интернет в России несколько повысилась (с 555,6 руб./месяц в 2011 г. до 585 руб./месяц в 2022 г.), но при этом доля абонентской в ВВП на душу населения снизилась с 0,18% в 2011 г. до 0,07% в 2021 г. [12]. По оценкам за 2020 г. Россия была третьей в мире по дешевизне использования ИКТ (связь и доступ в интернет), на начало 2022 г. – пятой [13].

Несмотря на относительную дешевизну и достаточно высокую скорость, по показателю доли населения, использовавшего интернет, в общей численности населения в 2020 г. Россия заняла 39 место (на 10 позиций выше, чем в 2018 г. [7]).

Согласно данным [14] за 2021 г., 11,5% домашних хозяйств, не имевших подключения к интернету, ответили, что в нем нет необходимости (в 2020 г. – 14%), еще 1,9% сослались на высокие затраты на его подключение (в 2020 г. - 4,2%) и 5,7% в качестве причины назвали отсутствие навыков для работы в интернете (в 2020 г. - 7,3%). В то же время в Курганской области отсутствие навыков работы в интернете признали более 14% опрошенных домохозяйств (в 2020 г. в Республике Мордовия отсутствие навыков признавали 15,8% домохозяйств, в 2021 г. их доля снизилась до 9,8%). В среднем по России 0,8% домашних хозяйств в качестве причины назвали отсутствие технической возможности подключения к сети Интернет (в 2020 г. – 1,4%), но при этом в Забайкальском крае на эту причину отсутствия интернета сослались 3,9% домашних хозяйств (в 2020 г. - 7%) [14]. Тем самым, инфраструктура ИКТ по регионам России развита неравномерно.

1.1.2. Место сектора ИКТ в экономике России

Согласно постановлению Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, сектор ИКТ определяется как совокупность видов экономической деятельности, связанных с производством продукции, предназначенной для выполнения функции обработки информации и коммуникации с использованием электронных средств, включая передачу и отображение информации. Он включает в себя производство и торговлю ИКТ-товарами, а также оказание ИКТ-услуг⁸.

Несмотря на рост доступности ИКТ в России, по оценкам ряда авторов, сектор ИКТ в настоящее время оказывает значительно меньшее влияние на экономику страны по сравнению с развитыми странами мира. Доля его валовой добавленной стоимости в ВВП сократилась с 3,6% в 2005 г. до 2,8% в 2018 г., но затем выросла до 3,1% в 2020 г., тогда как доля сектора ИКТ США выросла с 4,1% до 9,8% за тот же период [15] (табл. 1.4).

⁸ Минкомсвязь России закрепила понятия «Сектор ИКТ» и «Сектор контента и СМИ» URL: <https://digital.gov.ru/ru/events/34655/> (дата обращения – 01.08.2020).

Таблица 1.4 - Сопоставление доли сектора ИКТ в экономике России и США

(рассчитано по данным [7, 15])

Показатель	Год	Россия	США
Доля сектора ИКТ в ВВП, %	2005	3,6	4,1
	2010	3,4	5,9
	2015	3,0	7,1
	2020	3,3	9,8
Доля численности занятых в секторе ИКТ в общей численности занятых в экономике, %	2005	2,02	2,29
	2010	1,94	2,10
	2015	1,87	1,97
	2020	1,80	1,92
Доля сектора ИКТ в инвестициях в основной капитал, %	2005	7,52	8,21*
	2010	3,25	11,8*
	2015	3,10	10,6*
	2020	4,10	11,6*

*по США – доля в частных инвестициях в основной капитал

По данным NSF, доля добавленной стоимости отрасли ИТ и других информационных услуг России в мировой добавленной стоимости этого вида услуг в период 2005-2012 гг. выросла с 0,4% до 1,4%, однако затем сократилась до 0,46% в 2019 г. За период 2005-2019 гг. доля Китая выросла с 1,95% до 8,7%, а США – с 30,4% до 38,1% за тот же период (по данным [16], табл.1.5). При этом доля добавленной стоимости сектора ИКТ в России в ВВП в 2020 г. составляла 3,3%, тогда как в США и Японии на долю сектора ИКТ приходилось более 5% ВВП, в странах ЕС – более 4%, в Китае его доля выросла с 2,9% в 2001 г. до 3,86% в 2016 г.

Таблица 1.5 - Динамика доли стран в мировой валовой добавленной стоимости сектора ИКТ, % (рассчитано по данным NSF [16])

Показатель	Год	Россия	США	Страны ЕС	Китай	Япония
Доля стран в мировой добавленной стоимости отрасли ИТ и других информационных услуг, %	2005	0,65	29,27	16,07	11,46	16,07
	2010	0,81	26,61	12,65	17,35	13,72
	2015	0,41	25,48	9,91	26,44	7,18
	2019	0,41	24,71	8,07	29,74	6,12

Таблица 1.5 - Продолжение

Доля стран в мировой добавленной стоимости компьютерной, электронной и оптической промышленности, %	2005	0,35	30,38	26,47	1,95	16,48
	2010	0,73	30,64	24,35	4,67	13,28
	2015	0,57	35,48	21,20	8,79	8,35
	2019	0,46	38,11	22,09	8,70	7,26

В 2020 г. доля отрасли информационных технологий и оказания других информационных услуг в России в ВВП составила 1,6%, деятельности в сфере телекоммуникаций – 1%. Доля производства ИКТ в России в валовой добавленной стоимости в 2021 г. составила 0,7%, тогда как в Швейцарии – 3,3%, Венгрии – 2%, Финляндии – 1,7%, в Германии и Чехии – по 1,4%⁹.

1.1.3. Научно-исследовательская и изобретательская деятельность

ИКТ должны способствовать генерации идей, передового опыта, быть наиболее инновационно активными. Деятельность в этой области отражается в виде полученных патентов и опубликованных материалов. Количество публикаций российских авторов в области ИКТ в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, увеличилось более чем в 5,5 раза за период 2010 -2021 гг. (с 3188 ед. в 2010 г. до 17778 ед. в 2021 г.), их доля в общемировых публикациях в области ИКТ выросла с 0,88% до 2,98% за тот же период. В то же время доля патентных заявок на изобретения в области ИКТ, поданных российскими заявителями, несколько снизилась (с 0,37% в 2010 г. до 0,3% в 2020 г.⁹). При росте удельного веса инновационных товаров, работ или услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ и услуг сектора ИКТ (с 5,4% в 2010 г. до 9,4% в 2021 г.) сократилась доля организаций, осуществлявших технологические инновации (с

⁹ Индикаторы цифровой экономики: 2022: статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 332 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-7598-2697-2 (в обл.).

13,3% в 2010 г. до 10,1% в 2018 г.). Доля сектора ИКТ в общем числе разработанных ППТ в России снизилась с 9,06% в 2017 г. до 8,58% в 2019 г. несмотря на рост их числа (127 технологий в 2017 г. и 134 - в 2019 г.)¹⁰. Количество разработанных ППТ с использованием запатентованных изобретений сократилось за период 2017-2021 гг. с 34 до 24. Уровень инновационной активности организаций сектора ИКТ России (рассчитываемый как отношение числа инновационно активных организаций к общему числу обследованных в отчетном году организаций [17]), в 2021 г. составлял 14,4%, тогда как в 2019 г. в Германии, например, этот показатель превышал 91%, в Австрии и Исландии – по 87,1%, самый низкий показатель активности для европейских стран составлял 43,9% (Румыния).

В развитых странах сектор производства ИКТ является одним из наиболее динамичных секторов экономики, который характеризуется высокими показателями интенсивности НИОКР и более высокой производительностью по сравнению с экономикой в целом. Например, в странах ЕС за период 1995-2015 гг. сектор ИКТ увеличил свою добавленную стоимость в реальном выражении в 3,5 раза, в то время как рост экономики в целом составил 1,4 раза. Доля сектора ИКТ в затратах на НИОКР предпринимательского сектора составила 15,7% [18].

В США за период 2005-2019 гг. реальный ВВП вырос в 1,28 раза, в то время как реальная добавленная стоимость сектора производства ИКТ выросла в 2,82 раза¹¹.

Удельный вес затрат предприятий сектора ИКТ на инновационную деятельность в общем объеме отгруженных товаров снизился с 8,6% в 2011 г. до 3,5% в 2021 г. [19]. Тем не менее, доля затрат сектора ИКТ в общих затратах предприятий на НИОКР в России выросла с 4,6% в 2006 г. до 7,7% в 2021 г.¹² При небольшом росте доли сектора ИКТ в фундаментальных (с 0,22% в 2015 г. до 0,6% в 2017 г.) и прикладных исследованиях (с 0,45% до 0,49% за тот же период), произошло снижение его доли в разработках (с 5,6% в 2015 г. до 3,51% в 2017 г.).

¹⁰ ф. № 2-наука «Сведения о выполнении научных исследований и разработок». <https://www.gks.ru/folder/14477>. последнее обращение – 05.08.2020.

¹¹ Рассчитано по данным Bureau of Economic Analysis. Real Value Added by Industry

¹² Рассчитано по данным ф. № 2-наука «Сведения о выполнении научных исследований и разработок»

1.1.4. Затраты организаций на ИКТ в России и за рубежом

В 2015 г. компания Huawei провела исследование влияния инвестиций в ИКТ на экономический рост различных стран. В этом исследовании был сделан вывод о том, что для каждой страны увеличение инвестиций в ИКТ на 20% в среднем позволяет увеличить ее ВВП на 1% [20]. В отчете компании 2017 г. прогнозировался мультипликативный эффект от инвестиций: каждый вложенный в инфраструктуру ИКТ доллар может принести дополнительно 3,7 долл. в ее ВВП в 2020 г. и 5 долл. - в 2025 г. [21].

Инвестиции в ИКТ (в компьютерное оборудование, ПО и доступ в интернет), а также развитая ИТ-инфраструктура являются решающими факторами роста в странах с развитой экономикой. И в этой области США заняли лидирующее положение в мире, сохранив относительно высокую конкурентоспособность по сравнению с другими государствами-членами ОЭСР. Индия и Китай стали лидерами по уровню капитала (или капитальных услуг), которые активы ИКТ приносят в рост ВВП. Россия, по оценкам, отстает от стран-лидеров на 5-8 лет, и одни из причин отставания – слабость национальной инновационной системы, цифровое неравенство регионов [22].

В странах ОЭСР для анализа инвестиционной деятельности в области ИКТ используется показатель доли инвестиций в ИКТ как процент от общего валового накопления основного капитала нежилого фонда. Российская статистика использует показатель затрат организаций на ИКТ, который включает в себя расходы на закупку вычислительной техники и ПО, оплату услуг связи и другие расходы.

За период 2018–2022 гг. затраты организаций на ИКТ в текущих ценах выросли в России более чем в 2,2 раза (табл. 1.6), из них в большей степени выросли прочие расходы на ИКТ (более чем в 4 раза), которые включают оплату услуг сторонних организаций, расходы на приобретение программных средств (в 1,64 раза), приобретение телекоммуникационного оборудования (в 1,35 раза) и вычислительной техники (в 1,31 раза).

Таблица 1.6 - Индексы роста затрат на внедрение и использование ИКТ по видам за 2018-2022 гг. (2018 г. = 100%, рассчитано по данным [17])

Виды затрат на ИКТ	2018	2019	2020	2021	2022
Всего, в текущих ценах	100	138,2	147,6	209,8	223,2
Приобретение вычислительной техники и оргтехники	100	118,8	110,1	139,1	131,3
Приобретение телекоммуникационного оборудования	100	158,0	151,1	164,9	135,1
Приобретение программных средств	100	160,5	111,5	156,6	163,5
Оплата услуг связи	100	111,0	123,7	103,7	94,0
Прочие затраты	100	146,1	200,7	350,5	405,5

В структуре затрат на ИКТ в России в 2010-2019 гг. выросла доля затрат на приобретение ПО (с 15,8% в 2010 г. до 21,1% в 2019 г., табл.1.7) и оплату услуг сторонних организаций и специалистов по ИКТ (с 19,2% до 26,6% в 2018 г., но затем снизилась до 21,1% в 2019 г.), при этом существенно сократилась доля затрат на оплату организациями услуг связи (с 32,6% в 2010 г. до 14,3% в 2019 г.), на приобретение вычислительной техники (с 21,9% до 17,2% за тот же период) и на оплату обучения сотрудников (с 0,7% до 0,2%).

Таблица 1.7 - Динамика структуры затрат организаций на ИКТ в России, % (рассчитано по данным [17])

Виды затрат	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Всего	100	100	100	100	100	100	100
Приобретение вычислительной техники и оргтехники	21,9	20,2	20,0	20,0	20,0	17,2	14,9
Приобретение программных средств	15,8	17,4	22,4	18,9	18,1	21,1	19,3

Таблица 1.7 - Продолжение

Оплата услуг связи	32,6	22,8	19,3	17,6	17,8	14,3	21,0
Из нее – оплата доступа к Интернету	7,6	6,2	5,5	4,7	4,4	3,6	6,5
Обучение сотрудников, связанное с развитием и использованием ИКТ	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	1,1
Оплата услуг сторонних организаций и специалистов по ИКТ (кроме услуг связи и обучения)	19,2	20,2	20,3	25,3	26,6	21,1	11,1
Прочие затраты на ИКТ	9,9	5,5	5,9	6,8	6,8	11,5	11,6

Существует значительное различие по уровню затрат на ИКТ по ФО РФ (табл.1.8). В 2020 г. затраты на ИКТ в расчете на 1 занятого в ЦФО более чем в 3 раза превосходили показатель по России в целом, тогда как по всем остальным округам они были ниже среднероссийского (в СКФО – в 6,3 раза, в ЮФО – в 2 раза). При этом еще в 2015 г. среднероссийский уровень по этому показателю превышали три ФО: ЦФО, СЗФО и УФО. В 2022 г. превышение среднероссийского показателя в ЦФО несколько снизилось (до 1,7 раза), тогда как в ПФО, СФО и ДВФО произошло увеличение показателя внутренних затрат на ИКТ в расчете на 1 занятого в экономике по сравнению с 2020 г. Тем не менее, относительно ЦФО показатель затрат на ИКТ в расчете на 1 занятого в экономике по всем ФО в 2022 г. оказался ниже, чем в 2015 г. В 2022 г. в СКФО он составил всего 4,1% от показателя ЦФО, в ЮФО – 10,2%.

Таблица 1.8 - Динамика затрат на ИКТ в расчете на 1 занятого в экономике по ФО РФ, млн руб. на человека (рассчитано по данным [22])

ФО	2015	2020	2021	2022	В % к показателю ЦФО, 2015 г.	В % к показателю ЦФО, 2022 г.
РФ в целом	16,35	25,30	49,65	52,52	62,4	59,5
ЦФО	26,21	82,20	87,22	88,29	100,0	100,0
СЗФО	24,19	25,25	35,21	34,92	92,3	39,6
ЮФО	5,71	12,44	8,67	9,00	21,8	10,2
СКФО	4,10	3,99	3,96	3,66	15,6	4,1
ПФО	8,72	14,99	13,75	15,16	33,3	17,2
УФО	21,27	20,06	17,54	19,59	81,2	22,2
СФО	9,13	13,94	13,93	16,41	34,8	18,6
ДВФО	12,64	14,83	17,66	19,51	48,2	22,1

В структуре внутренних затрат организаций на внедрение и использование цифровых технологий в 2020 г. в большинстве ФО главной статьёй расходов была оплата услуг связи (32% общих внутренних затрат на ИКТ- в ЮФО, 26,4% - в СКФО, 24-25% - в ДВФО, ПФО и УФО, табл. 1.9), что связано с пандемией коронавируса и переходом на удаленную работу. Особое место в затратах на цифровые технологии занимают расходы на продукты и услуги в области информационной безопасности. В среднем по России на них приходилось 3,85% внешних и внутренних затрат, в УФО – более 9% (табл.1.9).

Все это свидетельствует о существующем дисбалансе в развитии ИКТ по федеральным округам России.

Таблица 1.9 - Структура внутренних затрат на внедрение и использование цифровых технологий по ФО РФ в 2020 г., %
(рассчитано по данным [24])

	РФ в целом	ЦФО	СЗФО	ЮФО	СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДФО
Внутренние затраты на ИКТ - всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100
на приобретение вычислительной техники и оргтехники	20,96	20,47	25,78	21,07	20,75	20,59	22,08	21,59	18,01
на приобретение коммуникационного оборудования	14,93	15,46	13,32	13,85	22,30	13,80	11,87	13,15	18,45
на приобретение производственных машин и оборудования, связанных с цифровыми технологиями	3,05	2,99	1,68	1,36	2,25	5,75	3,60	2,59	2,09
на приобретение прочего оборудования	6,58	6,85	7,34	4,74	9,46	5,95	5,84	5,18	5,69
на приобретение ПО, адаптацию и доработку ПО, выполненные собственными силами	19,27	21,29	15,93	9,66	9,77	15,42	18,95	16,46	12,97
в т.ч. российского ПО	6,07	5,83	6,29	4,96	5,69	6,12	8,18	7,57	6,11

Таблица 1.9 - Продолжение

на обучение сотрудников, связанное с внедрением и использованием цифровых технологий	1,14	1,42	0,24	0,14	0,20	1,58	0,15	0,17	0,33
на оплату услуг электросвязи	21,03	19,56	19,54	32,46	26,42	24,40	24,23	21,52	24,98
на оплату интернета	6,47	4,86	10,30	10,65	14,81	10,20	8,26	7,67	9,97
на приобретение цифрового контента	1,94	2,58	1,75	0,19	0,35	0,38	0,18	0,65	0,22
прочие внутренние затраты на внедрение и использование цифровых технологий	11,11	9,39	14,41	16,54	8,50	12,13	13,09	18,68	17,26
Доля затрат на продукты и услуги в области информационной безопасности в общих затратах на ИКТ	3,85	3,49	3,88	2,73	6,11	3,91	9,14	3,64	4,42

1.1.5. Проблемы информационного неравенства в ФО РФ

Отмеченное выше различие в уровне затрат на ИКТ и в их структуре приводит к существенной дифференциации ФО по степени распространения этих технологий (см., например, [22]). Особенно заметна эта дифференциация относительно показателей Москвы и Санкт-Петербурга (табл. 1.10).

Таблица 1.10 - Отношение показателей распространения ИКТ по ФО РФ к соответствующим показателям Москвы (рассчитано по данным [22])

Город/ ФО	Абоненты ШДИ				Удельный вес организаций, использующих			
	ФШДИ		МШДИ		системы электронного документообо рота		облачные сервисы	
	2011	2020	2011	2020	2011	2019	2015	2021
г. Москва	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
г. Санкт-Петербург	0,83	1,12	0,71	1,20	0,95	0,95	0,77	1,05
РФ	0,52	1,07	0,68	0,91	0,91	0,99	0,60	0,98
ЦФО	0,59	1,09	0,75	0,98	0,96	0,98	0,67	0,96
СЗФО	0,66	1,10	0,68	1,03	0,96	0,94	0,67	0,84
ЮФО	0,40	1,00	0,72	0,77	0,95	0,76	0,57	0,88
СКФО	0,14	0,92	0,69	0,74	1,01	1,00	0,67	0,95
ПФО	0,57	1,06	0,58	0,89	0,99	0,97	0,53	0,91
УФО	0,60	1,10	0,60	0,93	0,95	0,95	0,67	0,85
СФО	0,46	1,07	0,65	0,85	0,90	0,97	0,60	0,81
ДВФО	0,42	1,08	0,79	0,89	0,95	0,95	0,53	0,98

До 2019 г. отдельные ФО имели показатели распространения ШДИ в 2-4 раза меньше, чем в Москве (например, в ЮФО и СКФО – по показателям ФШДИ, в этих же округах к 2019 г. выросло отставание от Москвы и в распространении МШДИ). Однако в 2020-2021 гг. по распространению в организациях ФШДИ многие ФО опередили показатели Москвы.

Особенно значительным до недавнего времени был разрыв между Москвой и федеральными округами в распространении облачных сервисов. Однако за период 2020-2021 гг. этот разрыв существенно сократился. В среднем по России в 2021 г. он составил 98% от показателя Москвы. В 2021 г. 66,9% организаций использовали «облака» для доступа к ПО на платной или бесплатной основе, 68% организаций – для хранения данных.

1.1.5.1. Доступность ШДИ

Большую роль в распространении облачных вычислений играет доступность и скорость ШДИ (определение см. Приложение 1). В России существует значительная разница в стоимости доступа в интернет по регионам, а также между корпоративными пользователями и частными лицами. Цена доступа для корпоративных пользователей превышала цену для частных лиц в 20-30 раз (за рубежом – в 1,5-2 раза) [25]. В настоящее время эта разница несколько сократилась, но незначительно (корпоративный тариф в 5-10 раз превышает тарифы для физических лиц).

В 2010 г. абонентская плата за доступ в интернет для жителей Москвы составляла 1,73% от среднедушевых денежных доходов, тогда как в СКФО – 6,13%. В среднем по России абонентская плата за доступ в интернет в 2010 г. составляла 3,16% от среднедушевых денежных доходов, в 2020 г. этот показатель снизился до 1,53%, стоимость ФШДИ в 2016 г. составляла 1,3% в среднедушевых денежных доходах населения, МШДИ – 0,91% (для сравнения для Москвы эти показатели составляли 0,68% и 0,63% соответственно, [26]). При общем снижении доли абонентской платы за интернет в среднедушевых денежных доходах населения по каждому ФО в 1,6 – 2,5 раза за период 2010-2020 гг., остается значительный разрыв между Москвой и средними показателями ФО (табл.1.11).

Таблица 1.11 - Динамика доли абонентской платы за интернет в среднедушевых денежных доходах населения, % (рассчитано по данным [27, 23])

ФО/город	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
РФ в целом	3,16	1,89	1,81	1,79	1,70	1,57	1,53
ЦФО	2,50	1,77	1,69	1,60	1,44	1,20	1,13
СЗФО	2,44	1,47	1,43	1,45	1,40	1,41	1,38
ЮФО	3,91	2,30	1,95	1,88	1,82	1,66	1,72
СКФО	6,13	2,31	2,65	2,43	2,61	2,84	2,93
ПФО	3,14	1,92	1,82	1,77	1,72	1,72	1,78
УФО	2,49	1,93	1,81	1,82	1,65	1,63	1,59
СФО	3,89	2,19	2,17	2,10	1,97	1,83	1,71
ДФО	5,28	1,98	1,84	2,29	2,44	2,24	2,09
г. Москва	1,73	1,65	1,73	1,64	1,57	0,96	0,96
г. Санкт-Петербург	1,92	1,23	1,20	1,19	1,12	1,19	1,14

Доступность интернета относительно показателей Москвы, рассчитанная как доля абонентской платы в среднедушевых денежных доходах населения Москвы, отнесенная к соответствующему показателю ФО, в целом по России в 2020 г. составила 0,62, в СКФО – 0,33, в Санкт-Петербурге – 0,84 (табл. 1.12).

Таблица 1.12 - Доступность интернета по ФО России относительно показателей Москвы

ФО/город	2010	2015	2018	2019	2020
РФ	0,55	0,87	0,91	0,61	0,62
ЦФО	0,69	0,93	1,08	0,79	0,85
СЗФО	0,71	1,12	1,10	0,67	0,69
ЮФО	0,44	0,72	0,85	0,57	0,55
СКФО	0,28	0,72	0,59	0,33	0,33
ПФО	0,55	0,86	0,90	0,55	0,54
УФО	0,70	0,85	0,94	0,58	0,60
СФО	0,45	0,75	0,78	0,52	0,56
ДФО	0,33	0,83	0,57	0,42	0,46
г. Москва	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Источник: рассчитано автором по данным [22]

Если в целом по России доступность интернета относительно показателей Москвы выросла за период 2010-2020 гг. с 0,55 до 0,62, то в ряде ФО она снизилась. Например, в УФО доступность интернета в 2010 г. составляла 0,7, в 2016 г. достигла 0,95, а в 2020 г. она снизилась до 0,60.

Кроме того, сохраняется значительная разница в скорости доступа в интернет по ФО (см., например, табл.1.3). Средняя скорость подключения ФШДИ за период 2015-2020 гг., рассчитанная по данным [28], выросла по России в целом почти в 1,5 раза, но при этом только в ЦФО, СЗФО и УФО она была выше среднероссийского показателя. В ДФО средняя скорость почти в 1,2 раза ниже, чем в среднем по России.

Все эти факторы влияют на то, как используется потенциал ИКТ в регионах. Если доля инвестиций в основной капитал, направленных на приобретение информационного, компьютерного и телекоммуникационного (ИКТ) оборудования в общем объеме инвестиций в основной капитал в 2020 г. выросла во всех ФО по сравнению с 2010 г. (наиболее существенно - в СКФО в 2,6 раза), то показатель доли занятых в секторе ИКТ в общей численности занятых в некоторых округах сократился, а в целом по РФ вырос незначительно (на 5,9%, табл.1.13).

Таблица 1.13 - Показатели сектора ИКТ по ФО России [12]

ФО	Удельный вес занятых в секторе ИКТ в общей численности занятого населения, %		Доля инвестиций в основной капитал, направленных на приобретение информационного, компьютерного и телекоммуникационного (ИКТ) оборудования, в % от общего объема инвестиций в основной капитал		Доля внутренних затрат на исследования и разработки в области цифровых технологий, в общем объеме внутренних затрат на исследования и разработки
	2010	2020	2010	2020	2020
РФ	1,70	1,80	1,86	3,62	2,8
ЦФО	2,30	2,40	2,47	5,97	3,2
СЗФО	2,07	2,10	1,55	3,41	2,7
ЮФО	1,20	1,20	1,94	2,92	3,5
СКФО	1,21	1,00	0,84	2,19	0,7

Таблица 1.13 - Продолжение

ПФО	1,37	1,60	2,03	3,28	1,3
УФО	1,55	1,30	1,43	1,52	1,3
СФО	1,40	1,50	2,04	2,60	5,5
ДВФО	1,27	1,20	1,36	2,13	0,2

1.1.6. Доступность государственных и муниципальных услуг в электронной форме

Неравномерность распространения ИКТ приводит к тому, что российские потребители имеют разные возможности для использования преимуществ «цифровизации» (табл. 1.14).

Таблица 1.14 - Показатели использования населением ФО интернета по отношению к соответствующему показателю Москвы, 2021 г. (рассчитано по данным [14])

ФО	Доля населения, использовавшая интернет в течение последних трех месяцев	для заказа товаров и услуг	для получения государственных и муниципальных услуг в электронной форме (через Интернет)	Доля населения, использовавшая средства защиты информации
Москва	1,00	1,00	1,00	1,00
Санкт-Петербург	0,96	0,96	0,56	1,00
РФ	0,92	0,65	0,70	0,94
ЦФО	0,93	0,81	0,82	0,97
СЗФО	0,92	0,78	0,57	1,00
ЮФО	0,93	0,61	0,77	0,92
СКФО	0,94	0,50	0,53	0,72
ПФО	0,90	0,57	0,74	1,00
УФО	0,93	0,64	0,71	0,98
СФО	0,89	0,53	0,59	0,87
ДВФО	0,92	0,53	0,55	0,80

Если общий процент пользователей интернета в 2021 г. по ФО отличается незначительно, то доля тех, кто использует его для заказа товаров и услуг, существенно

ниже, чем в Москве. Это связано не только с недостатком информации и знаний в работе с компьютером, но и с недоверием к электронной коммерции (в целом по России этому виду торговли в 2021 г. не доверяли 14,5%, в 2019 г. - 16,9% [29]), а также с существенной разницей в денежных доходах между жителями ФО и Москвы [21]. Большую роль играют также социально-демографические факторы, а также особенности этого вида торговли в регионах. Кроме того, в ФО значительно ниже доля тех, кто в 2021 г. получал государственные и муниципальные услуги в электронной форме. Даже в Санкт-Петербурге этот показатель составлял только 56% от показателя Москвы.

Существенна и разница в доле населения, получавшего государственные и муниципальные услуги в электронной форме в ФО и Москве. Даже в Санкт-Петербурге этот показатель составляет только 56% от московского, что связано с большими различиями в субсидировании регионов по продвижению программы госуслуг в электронном виде. В 2021 г. фактический ИКТ-бюджет Москвы составил 76,3 млрд руб., тогда как Санкт-Петербурга – 21,6 млрд руб. [30]. Правительство Москвы приняло постановление, согласно которому ряд госуслуг теперь оказывается только в электронном виде, для этого разрабатываются новые онлайн-сервисы, особое внимание уделяется созданию цифровой платформы здравоохранения (мониторинг пациентов с COVID-19, система QR-кодов в период борьбы с коронавирусом, электронная медицинская карта и т.д.).

Наибольшее количество тех, кто не пользуется интернетом для получения государственных и муниципальных услуг в электронной форме, в качестве главной причины своего отказа называли предпочтение личного визита и персональных контактов (в целом по РФ за 2021 г. – 52,5%, в СЗФО – 59,1%), а также недостаточность навыков или знаний (в целом по РФ – 17,9%, в СФО – 20,6%).

Для эффективного использования новых ИКТ необходимо иметь соответствующую квалификацию. Однако при этом если доля специалистов по ИКТ высшего уровня квалификации в общей численности занятых в 2020 г. в

Москве составляла 3,1%, то в среднем по России – 1,8%, а в ряде регионов (в республиках Бурятия, Ингушетия, в Чеченской республике) – не более 0,6% [12].

Таким образом, в РФ наблюдается значительная дифференциация ее ФО по уровню распространения ИКТ, что негативно сказывается на социально-экономических условиях жизни граждан страны, ограничивает возможности жителей отдельных регионов в поиске работы, получения дистанционного образования, ведения бизнеса, продвижения своих товаров и услуг [21].

Дифференциация в распространении ИКТ в РФ тесно связана с неравенством доходов жителей ее ФО и неравномерностью экономического развития регионов. В связи с этим повышается актуальность исследования влияния диффузии ИКТ на все аспекты экономического развития страны и ее ФО, выявление того, в какой степени меры по развитию ИКТ способствуют росту благосостояния граждан страны.

1.1.7. Показатели «цифровизации» отраслей экономики РФ и ее ФО

В российских исследованиях предложены различные индексы, характеризующие готовность регионов к информационному обществу. Например, в 2016 г. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ (Минцифры) представило свою версию рейтинга субъектов РФ по уровню развития информационного общества [31], однако проследить за его динамикой сложно, так как методика расчета ежегодно меняется в сторону увеличения количества учитываемых показателей. Еще один показатель - индекс «Цифровая Россия» - разработан Центром Финансовых инноваций и безналичной экономики Московской школы управления СКОЛКОВО [32]. Он охватывает все сферы цифровой экономики регионов, но при этом рассчитан всего за 2 года, и выделение групп ФО основано в нем на показателях 2018 г.[21].

В начале 2021 г. появилась информация, что Минцифры готовит новую методику ранжирования регионов по уровню их цифровизации, на разработку

которой и проведение соответствующих расчетов в 2021 и 2022 гг. должно было быть выделено 50 млн руб. [33].

В качестве показателя уровня «цифровизации» отраслей экономики и ФО РФ в настоящей диссертации предлагается мультипликативный комплексный показатель, характеризующий использование ИКТ организациями исследуемых отраслей и округов, в виде:

$$Dig = D_1 D_2 D_3 D_4, \quad (1.1)$$

где D_1 – доля организаций, использующих интернет, в общем числе обследованных организаций; D_2 – доля организаций, использующих персональные компьютеры, в общем числе обследованных организаций; D_3 – доля организаций, использующих локальные вычислительные сети, в общем числе обследованных организаций; D_4 – доля организаций, имеющих веб-сайты в интернете, в общем числе обследованных организаций ФО. Такой показатель характеризует основные технические возможности организаций ФО и отраслей экономики РФ по использованию ИКТ в своей хозяйственной деятельности, в том числе, для ведения финансовых операций, электронной коммерции, повышения уровня квалификации своих работников [21]. Мультипликативность индекса объясняется высокой положительной корреляцией отдельных показателей, используемых в нем.

Такой показатель характеризует основные технические возможности организаций ФО и отраслей экономики Российской Федерации по использованию ИКТ в своей хозяйственной деятельности, в том числе, для ведения финансовых операций, электронной коммерции, повышения уровня квалификации своих работников, и позволяет проследить динамику «цифровизации» ФО с точки зрения использования организациями и бизнесом преимуществ ИКТ [21].

Динамика показателя Dig по отраслям экономики РФ, рассчитанного на основании данных Федеральной службы государственной статистики, представлена на рис.1.1. Выбранные для исследования отрасли экономики РФ имели показатели «цифровизации» выше, чем средние по стране (только отрасли

государственного управления и здравоохранения до 2011 г. имели показатель «цифровизации» ниже).

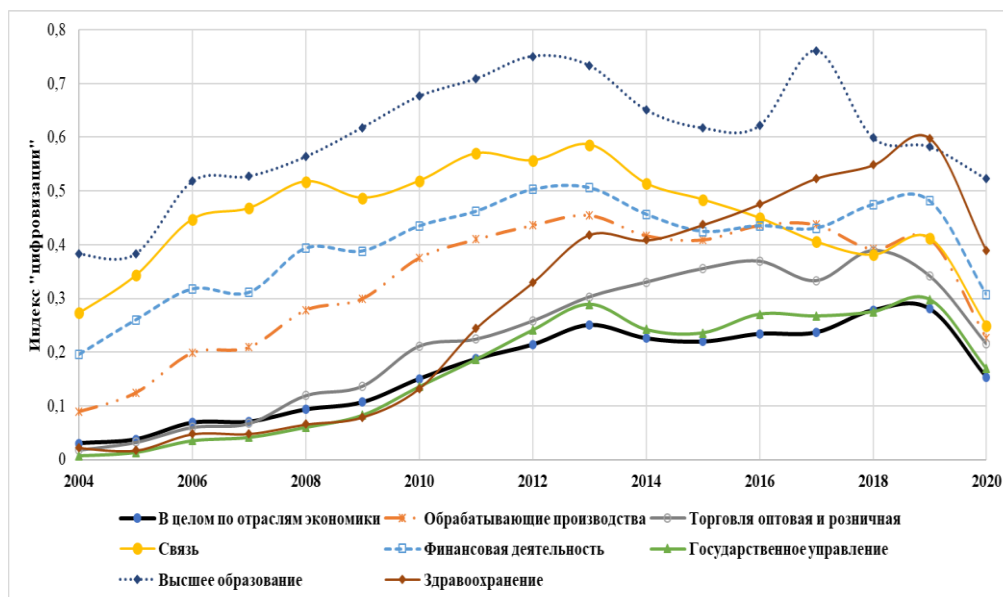


Рисунок 1.1 - Динамика показателя «цифровизации» по отраслям экономики РФ, 2002-2020 гг.

Анализ динамики соответствующего показателя для ФО РФ за 2003-2019 гг. (см. рис. 1.2), позволяет выделить следующие группы ФО:

1 группа - ФО со значением параметра выше среднероссийского уровня (ЦФО, СЗФО, УФО);

2 группа - с показателем «цифровизации», практически совпадающим со средним по России (ПФО);

3 группа - с показателем ниже среднего значения по РФ (ЮФО, СКФО, СФО и ДВФО) [21].

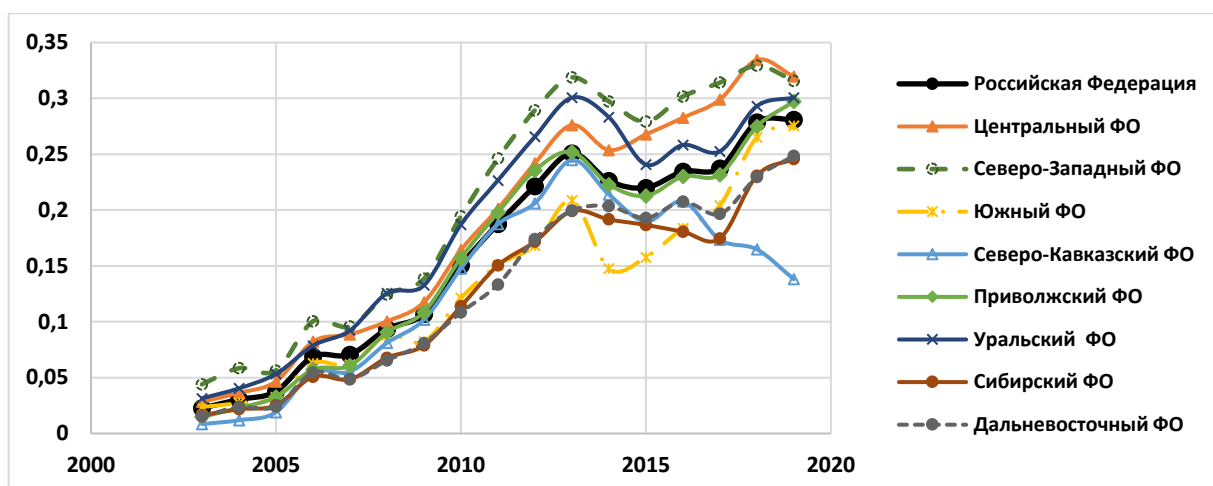


Рисунок 1.2 - Динамика показателя «цифровизации» по ФО РФ

В последнее время Федеральная служба государственной статистики опубликовала более подробные показатели использования цифровых технологий организациями по ФО РФ. Часть из них дается за период с 2010 г., другие – с 2011 г. В связи с этим за период 2010-2019 гг. в настоящем исследовании был разработан новый индекс цифровизации, который состоит из суммы двух мультипликативных индексов

$$Dig^* = Dig_1^* + Dig_2^*, \quad (1.2)$$

где Dig_1^* является произведением показателей, значения которых представлены за 2010-2019 гг., а Dig_2^* содержит в себе показатели, данные по которым имеются за период 2011-2019 гг.:

$$Dig_1^* = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6$$

$$Dig_2^* = X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11} X_{12},$$

где X_1 – доля организаций, использующих ШДИ, в общем числе обследованных организаций;

X_2 - доля организаций, использовавших Интранет;

X_3 - доля организаций, использовавших Экстранет;

X_4 - доля организаций, использовавших ERP-системы;

X_5 - доля организаций, использовавших CRM-системы;

X_6 - доля организаций, размещавших и получавших заказы на товары (работы, услуги) в Интернете;

X_7 - доля организаций, использовавших системы электронного документооборота;
 X_8 - доля организаций, использовавших предоставляемые третьей стороной операционные системы с открытым исходным кодом;

X_9 - доля организаций, имевших специальные программные средства для управления продажами товаров (работ, услуг);

X_{10} - доля организаций, имевших специальные программные средства для управления закупками товаров (работ, услуг), в общем числе обследованных организаций;

X_{11} - доля организаций, использовавших SCM – системы;

X_{12} - доля организаций, использовавших электронный обмен данными между своими и внешними информационными системами по форматам обмена, в общем числе обследованных организаций.

Для рассчитанного таким образом индекса «цифровизации» сохранилось разделение ФО на группы: индексы «цифровизации» ЦФО, СЗФО и УФО существенно превышают средние по России показатели, у ПФО они до 2017 г. очень близки к среднероссийским, в 2018-2019 гг. приближаются к показателям СЗФО, а для ЮФО, СКФО, СФО и ДВФО полученные индексы «цифровизации» существенно ниже среднероссийских (рис.1.3).

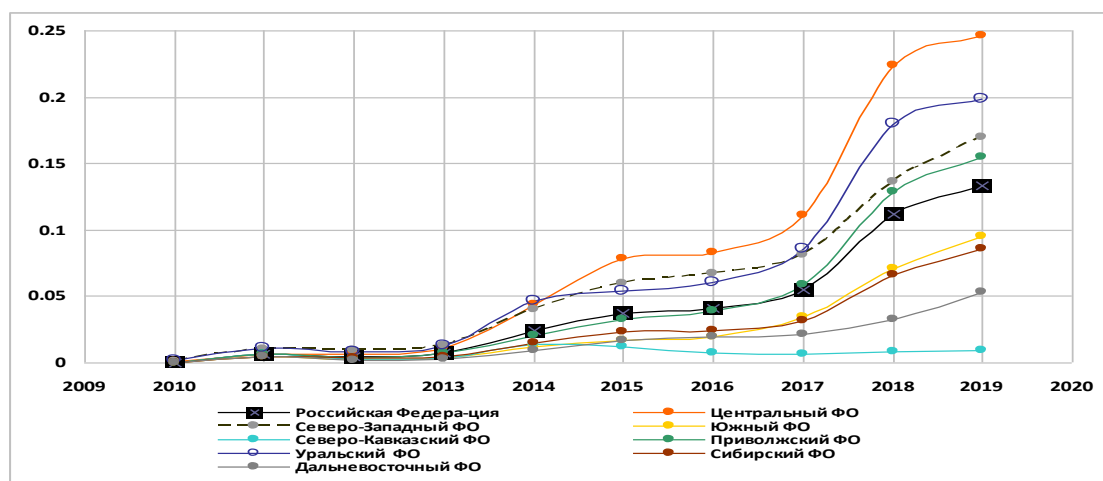


Рисунок 1.3 - Динамика индекса «цифровизации» Dig* за 2010-2019 гг. по ФО РФ.

Сопоставление основных экономических показателей по выделенным группам ФО в 2019 г. представлено в табл. 1.15 [21].

Таблица 1.15 - Некоторые социально-экономические показатели группы округов за 2019 г. (рассчитано по данным [22], в среднем по группе)

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	В целом по России
Доля занятых в экономике в общей численности населения, %	52,5	45,9	44,6	48,4
Среднедушевые денежные доходы (в месяц), руб.	40564	28268	29843	35247
Среднемесячная номинально начисленная заработная плата работников организаций, руб.	55327	34592	40335	47867
Доля персонала, занятого исследованиями и разработками, в общей численности занятых в экономике, %	1,38	0,78	0,43	0,96
Доля внутренних затрат на НИОКР в ВРП, %	1,43	1,32	0,57	1,20
Количество используемых ПИТ в расчете на 1 тыс. занятых в экономике	3,86	5,73	2,27	3,70
Доля затрат на инновации в ВРП, %	2,01	3,10	1,56	2,06
Индекс цифровой грамотности, 2018 ¹³	6,12	2,31	4,10	4,52
Индекс готовности регионов к информационному обществу (данные 2013-2014 гг.) ¹⁴	0,524	0,468	0,421	нет
Индекс «Цифровая Россия», 2018 г. [34]	64,2	62,7	52,5	нет
Индекс Dig	0,312	0,297	0,227	0,281
Индекс Dig*	0,205	0,155	0,061	0,134

¹³ Цифровая грамотность 2018. Всероссийское исследование. – РОЦИТ. URL: <https://индекс.цифроваяграмотность.рф/mindex/2018/> (дата обращения – 30.07.2021).

¹⁴ Индекс готовности регионов России к информационному обществу 2013-2014. Анализ информационного неравенства субъектов Российской Федерации / Под ред. Т.В.Ершовой, Ю.Е. Хохлова, С.Б. Шапошника. М.: 2015. 524 с.

Группа 1 с индексом цифровизации выше, чем в среднем по России (0,312 в 2019 г.), характеризуется наибольшими денежными доходами населения, наиболее высокой среднемесячной заработной платой работников организаций, большей долей занятых в экономике в общей численности населения, а также большей долей персонала, занятого исследованиями и разработками, в общей численности занятых в экономике. Группа 3 (0,227) имеет показатели доходов выше, чем во 2-ой группе, но ниже доли занятых в экономике в общей численности населения и доли персонала, занятого исследованиями и разработками, в общей численности занятых. Группа 2 (0,297) имеет самые высокие показатели количества используемых ПИТ в расчете на тысячу занятых в экономике и самую высокую долю затрат на инновации в ВРП. Индексы цифровой грамотности населения, готовности ФО к информационному обществу и «Цифровая Россия» соответствуют разделению по индексу «цифровизации».

Можно также сопоставить уровень использования цифровых технологий в предпринимательском секторе и социальной сфере ФО за 2017 г. на основании расширенного списка показателей, который включает в себя (помимо использования интернета (x_1), широкополосного доступа в интернет (x_2) и наличия веб-сайтов (x_3)) использование облачных сервисов (x_4), электронного обмена данными (x_5), подписку на информационные ресурсы (x_6), найм (x_7) и обучение персонала (x_8) онлайн. На основании данных [28] для каждого ФО был рассчитан мультипликативный показатель уровня использования цифровых технологий:

$$D^i = x_1^i x_2^i x_3^i x_4^i x_5^i x_6^i x_7^i x_8^i * 1000,$$

где перечисленные выше показатели представляют собой долю организаций, использующих данную технологию, в общем числе обследованных организаций, индекс $i=1$ соответствует предпринимательскому сектору, $i=2$ – социальной сфере, $i=0$ учитывает все организации ФО. Полученные результаты (табл. 1.16) свидетельствуют о том, что уровень использования цифровых технологий в предпринимательском секторе во всех ФО выше, чем в социальной сфере, а деление ФО на группы по индексу Dig и показателю D^0 совпадает [21].

Таблица 1.16 - Мультипликативный показатель уровня использования цифровых технологий организациями ФО в 2017 г. (рассчитано по данным [12])

ФО	D ⁰	D ¹	D ²	Отношение D ¹ /D ²
СЗФО	0,55	0,72	0,38	1,87
ЦФО	0,47	0,82	0,11	7,42
УФО	0,34	0,41	0,38	1,07
РФ	0,19	0,27	0,09	2,93
ПФО	0,14	0,20	0,08	2,46
ДВФО	0,14	0,19	0,07	2,68
ЮФО	0,09	0,11	0,04	2,87
СФО	0,07	0,07	0,06	1,11
СКФО	0,02	0,02	0,01	1,76

В среднем по РФ удельный вес занятых в секторе ИКТ в общей численности занятого населения в 2010-2020 гг. составлял около 1,72%, для ФО группы 1 – 1,95%, группы 2 – 1,49%, группы 3 – 1,23% (рассчитано по данным [22]). Таким образом, наиболее высокий индекс «цифровизации» группы 1 ФО был обеспечен более высокой численностью занятых в секторе ИКТ по сравнению с другими группами ФО. Кроме того, за 2002-2017 гг. ФО первой группы расходовали в среднем около 90 руб. в расчете на одного занятого в экономике на обучение сотрудников, связанное с развитием и использованием ИКТ, в то время как по России в целом этот показатель составлял около 63 руб., а для ФО третьей группы – в среднем 43 руб. на одного занятого в экономике ФО (рассчитано по данным [22]). Тем самым, развитию человеческого потенциала в ФО третьей группы уделяется значительно меньшее внимание, чем в ФО первой группы [21].

Для выявления зависимости между уровнем «цифровизации» отрасли и статьями затрат организаций на ИКТ были рассчитаны коэффициенты корреляции между этим показателем и затратами на ИКТ в целом и для отдельных его составляющих: затрат на приобретение вычислительной техники, ПО, оплату услуг связи, повышение квалификации персонала в области ИКТ за период 2004-2019 гг., см. табл.1.17.

Таблица 1.17 - Коэффициенты корреляции между индексом «цифровизации» отрасли и затратами организаций на ИКТ за 2004-2019 гг.

Отрасли экономики	Затраты на ИКТ, всего	Затраты на приобретение вычислительной техники	Затраты на приобретение ПО	Затраты на оплату услуг электросвязи	Затраты на обучение сотрудников,
РФ	0,870	0,912	0,814	0,883	0,373
Обрабатывающие производства	0,638	0,609	0,616	0,738	0,298
Торговля оптовая и розничная	0,882	0,817	0,752	0,872	0,568
Деятельность в области информации и связи	-0,274	-0,293	-0,401	0,252	0,050
Деятельность финансовая и страховая	0,449	0,507	0,467	0,692	-0,296
Государственное управление и обеспечение военной безопасности	0,832	0,607	0,881	0,805	0,111
Высшее образование, подготовка кадров высшей квалификации	0,452	0,488	0,420	0,764	-0,373
Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг	0,860	0,623	0,764	0,753	0,217

Самый высокий коэффициент корреляции между индексом «цифровизации» и общими затратами организаций на ИКТ получен для РФ в целом (0,870), а также для отрасли «Торговля оптовая и розничная» (0,882).

Далее идут отрасли «Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг» (0,860) и «Государственное управление и обеспечение военной безопасности» (0,832), самый низкий коэффициент корреляции получен для «Деятельности в области информации и связи» (-0,274).

Для ряда отраслей экономики наибольшее значение коэффициента корреляции между индексом «цифровизации» и различными видами затрат на ИКТ

получено для затрат на оплату услуг связи, в которые включены и расходы на доступ в интернет. Исключение составила отрасль «Государственное управление и обеспечение военной безопасности», где наиболее значима взаимосвязь между индексом «цифровизации» и затратами на приобретение ПО.

Далее для отраслей экономики были оценены зависимости уровня «цифровизации» отрасли j от затрат на ИКТ (ICT_j) в целом и отдельных их видов, а также от года t :

$$Dig_j = a_1 ICT_{ij} + a_2 t + b_j, \quad (1.3)$$

где $i=0$ соответствует общим затратам на ИКТ отрасли j в ценах 2016 г.,

$i=1$ – затратам на приобретение вычислительной техники отрасли j ,

$i=2$ – затратам на приобретение ПО,

$i=3$ – затратам на оплату услуг связи,

$i=4$ - затратам на обучение сотрудников, связанное с внедрением и использованием цифровых технологий. Результаты расчетов представлены в табл.1.18.

Таблица 1.18 - Взаимосвязь между уровнем «цифровизации» отрасли j и затратами организаций отрасли на ИКТ в целом и по видам затрат (в скобках здесь и далее указаны t -статистики)

Отрасли		a_1	a_2	b	R^2
Все затраты на ИКТ					
Экономика в целом	параметр	0,00016	0,0005	-0,94	0,88
	t -статистика	3,1	1,3	-0,1	
Обрабатывающие производства	параметр	0,00195	0,003	-6,1	0,59
	t -статистика	2,2	0,43	-0,42	
Государственное управление и обеспечение военной безопасности	параметр	0,0008	0,016	-32,6	0,85
	t -статистика	3,0	-7,0	-7,0	
Высшее образование, подготовка кадров высшей квалификации	параметр	0,0046	0,014	-26,7	0,44
	t -статистика	2,3	2,9	-2,9	
Затраты на приобретение вычислительной техники и оргтехники					

Таблица 1.18 - Продолжение

Экономика в целом	параметр	0,001	0,006	-12,1	0,92
	t-статистика	4,8	2,8	-2,8	
Обрабатывающие производства	параметр	0,005	0,012	-23,2	0,59
	t-статистика	2,1	2,6	-2,5	
Торговля оптовая и розничная	параметр	0,004	0,013	-25,4	0,85
	t-статистика	3,9	3,9	-3,9	
Государственное управление и обеспечение военной безопасности	параметр	0,003	0,018	-36,8	0,87
	t-статистика	3,6	9,0	-8,9	
Затраты на приобретение программного обеспечения					
Государственное управление и обеспечение военной безопасности	параметр	0,005	0,017	-33,0	0,86
	t-статистика	3,2	7,4	-7,4	
Высшее образование	параметр	0,034	0,009	-18,1	0,49
	t-статистика	2,6	2,2	-2,1	
Затраты на оплату услуг связи					
Экономика в целом	параметр	0,0003	0,0095	-19	0,88
	t-статистика	2,9	3,9	-3,9	
Обрабатывающие производства	параметр	0,0071	0,0098	-19,5	0,69
	t-статистика	3,3	2,5	-2,4	
Государственное управление и обеспечение военной безопасности	параметр	0,0022	0,0168	-33,8	0,83
	t-статистика	2,5	7,0	-6,9	
Затраты на обучение сотрудников, связанное с внедрением и использованием цифровых технологий					
Экономика в целом	параметр	-0,0051	0,0174	-34,9	0,84
	t-статистика	-1,6	7,8	-7,7	
Деятельность финансовая и страховая	параметр	-0,0091	0,0141	-28	0,67
	t-статистика	-4,1	4,8	-4,7	

Для всех рассмотренных отраслей экономики России, за исключением деятельности в области информации и связи, за период 2004-2019 гг. получена

значимая зависимость уровня «цифровизации» от затрат на ИКТ или их отдельных видов, причем для всех видов, кроме затрат на обучение сотрудников, связанное с внедрением и использованием цифровых технологий, эта зависимость положительная.

Для деятельности в области здравоохранения и социальных услуг получена значимая положительная зависимость прироста индекса цифровизации от прироста затрат на приобретение вычислительной техники и оргтехники в расчете на одного занятого ($\Delta Dig = 29,8 * \Delta ICT_1 / L + 0,023$, $R^2 = 0,38$).

Затраты на приобретение ПО повышают индекс «цифровизации» организаций отраслей высшего образования и государственного управления, для других отраслей экономики не было получено значимого эффекта от роста этого вида затрат в увеличение индекса «цифровизации».

Для ФО РФ коэффициент корреляции между затратами на ИКТ и индексом «цифровизации» варьируется от 0,25 (для СКФО) до 0,89 (для ДВФО), при этом среди видов затрат наибольший коэффициент корреляции для большинства федеральных округов отмечается у затрат на услуги сторонних организаций (СЗФО, ПФО и СФО), а также у затрат на приобретение ПО (УФО и ПФО, табл.1.19).

Таблица 1.19 - Коэффициенты корреляции между индексом «цифровизации» федеральных округов и их затратами на ИКТ, 2003-2020 гг.

ФО	Затраты на ИКТ, всего	Затраты на приобретение вычислительной техники	Затраты на приобретение ПО	Затраты на оплату услуг связи, в т.ч. доступ в интернет	Затраты на услуги сторонних организаций*
РФ	0,76	0,44	0,75	0,77	0,89
ЦФО	0,65	0,51	0,75	0,75	0,82
СЗФО	0,75	0,67	0,76	0,83	0,91
ЮФО	0,39	0,33	0,63	0,32	0,47
СКФО	0,25	-0,07	0,56	0,55	0,60
ПФО	0,79	0,58	0,88	0,87	0,96

Таблица 1.19 - Продолжение

УФО	0,85	0,55	0,89	0,71	0,89
СФО	0,85	0,65	0,79	0,66	0,94
ДВФО	0,89	0,72	0,81	0,75	0,89

*- данные за 2004-2018 гг. Источник: рассчитано автором по данным [12]

Для РФ в целом наиболее высока корреляция между индексом «цифровизации» и затратами на оплату услуг связи, в т.ч. доступа в интернет (0,77). Среди ФО наиболее высокая корреляция между затратами на ИКТ и индексом «цифровизации» получена для ДВФО (0,89), между индексом «цифровизации» и затратами на услуги сторонних организаций – для ПФО (0,96). Для СКФО получена отрицательная корреляция между индексом «цифровизации» и затратами на приобретение вычислительной техники (-0,07).

Необходимо отметить, что в 2020 г. существенно изменились тенденции развития ИКТ как в России, так и во всем мире. Пандемия коронавируса привела к тому, что многие предприятия были закрыты, объемы продаж сократились, часть программ цифровизации была приостановлена. Перевод сотрудников на удаленную работу существенно повысил расходы организаций на оплату услуг связи. Если в 2019 г. в среднем по России на долю этого вида затрат приходилось 18,2%, то в 2020 г. – 21%. Несмотря на рост стоимостных показателей ИТ-рынка в России, индексы «цифровизации» для регионов и отраслей экономики в 2020 г. снизились по сравнению с 2019 г. В расходах организаций на приобретение ПО доля российских разработок снизилась с 58,1% в 2019 г. до 31,5% в 2020 г. В то же время доля расходов на приобретение цифрового контента увеличилась с 0,4% внутренних затрат организаций на ИКТ в 2019 г. до почти 2% в 2020 г.

Далее была построена регрессионная модель зависимости прироста индекса «цифровизации» от отдельных видов затрат организаций на ИКТ за 2002-2020 гг. для РФ вида:

$$\Delta Dig = a\Delta \ln(x_1) + b\Delta \ln(x_2) + c\Delta \ln(x_3) + d, \quad (1.4)$$

где x_1 - затраты организаций на приобретение вычислительной техники и оргтехники; x_2 - затраты организаций на оплату услуг электросвязи; x_3 - затраты на

услуги сторонних организаций и расходы на обучение сотрудников, связанное с развитием и использованием ИКТ.

В результате оценки параметров модели (все они значимы на уровне 5%, $R^2=0,73$) выявлена положительная эластичность прироста индекса цифровизации по затратам организаций на приобретение вычислительной техники и оргтехники ($a=0,05$) и на оплату услуг электросвязи ($b=0,04$), и отрицательная – с затратами на услуги сторонних организаций и расходы на обучение сотрудников, связанное с развитием и использованием ИКТ ($c=-0,43$).

Для УФО получена положительная корреляция между приростом индекса цифровизации и приростом логарифма затрат на приобретение вычислительной техники и оргтехники, для ДВФО – приростом логарифма затрат на оплату услуг связи. Прирост логарифма затрат на оплату услуг связи положительно влиял на рост индекса «цифровизации» ЮФО и СКФО, в то время как прирост логарифма затрат на приобретение вычислительной техники и оргтехники отрицательно сказывался на рост индекса для СКФО.

В связи с отмеченными выше особенностями в использовании ряда важных направлений ИКТ, повысилась актуальность разработки мер по ускорению распространения этих технологий. С этой целью необходимо проведение комплексного исследования по моделированию и прогнозированию диффузии ИКТ при различных вариантах изменения ключевых социально-экономических факторов.

1.2. Анализ подходов и методов моделирования диффузии технологий

Термин «диффузия», применявшийся в химии и физике для описания процесса движения молекул из областей высокой концентрации в остальные области, впервые был введен в социальные науки в работе Г. Тарда [35], в которой были применены математические модели для анализа распространения политических идей. В социальных науках под диффузией понимают процесс распространения инновации среди потенциальных ее последователей [36, с. 464]. Согласно определению ОЭСР, «инновация есть введение в употребление какого-

либо нового или значительно улучшенного продукта (товара или услуги) или процесса, нового метода маркетинга или нового организационного метода в деловой практике, организации рабочих мест или внешних связях» [37, с.31].

Изучение диффузии инноваций в социальной среде было начато Э. Роджерсом [38] в 1962 г. Согласно его определению, диффузия инноваций представляет собой процесс, посредством которого инновация передается по различным каналам с течением времени среди членов социальной системы. Таким образом, основными элементами процесса диффузии являются инновации, коммуникационные каналы, период принятия решения об инновации и социальная среда. Роджерс выделил 5 основных групп, представляющих различные типы потенциальных пользователей инноваций: новаторы (примерно 2,5% людей), ранние последователи (13,5%), раннее большинство (34%), позднее большинство (34%) и консерваторы (16%).

Проникновение нового продукта или технологии на рынок проходит определенные стадии: коммерциализация (дата первой продажи), взлет (первый значительный и устойчивый рост продаж), внедрение (период от коммерциализации нового продукта до его взлета), замедление (начало периода замедления роста или временного снижения продаж после взлета), рост (период от старта нового продукта до его замедления), срок погашения (период от замедления роста до начала устойчивого снижения продаж) [39]. Таким образом, процесс диффузии имеет две ключевые точки: взлет и замедление.

Математическая модель распространения новых продуктов предложена Ф. Бассом в 1969 г. [40]. Эта модель имеет вид:

$$\frac{dF(t)}{dt} = \left[p + q \frac{F(t)}{M} \right] [M - F(t)], \quad (1.5)$$

где $\frac{dF(t)}{dt}$ – число новых покупателей продукта в момент t ,

$F(t)$ – общее количество приобретших продукт к моменту времени t (накопленная сумма),

M – максимально возможное число потенциальных покупателей продукта,

p – коэффициент инновации,

q – коэффициент имитации.

Модель учитывает два источника знаний об инновации: реклама и межличностные коммуникации [41]. Ее простота и, в то же время, наглядность, учет инновационной и имитационной составляющих диффузионного процесса объясняют широкое применение модели вплоть до настоящего времени (см., например, статьи [42], [43], [44]).

На современном этапе изучение диффузии инноваций осуществляется в двух направлениях. Первое направление исследует наличие системной закономерности в ее развитии, второе изучает ее пространственное распространение на всех стадиях жизненного цикла.

Стоимость внедрения инноваций оказывает существенное воздействие на скорость их распространения. Когда затраты на внедрение инновации воспринимаются как высокие, ее потенциальным пользователям необходимо четко понимать результаты, выгоды, риски вложений как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Именно поэтому дорогостоящие инновации требуют больше времени для распространения и привлечения большего числа участников диффузионного процесса по сравнению с недорогими инновациями.

Модели диффузии инноваций стали широко применяться и для описания процессов распространения ИКТ, и, в первую очередь, интернета. Технологии доступа в интернет также прошли через разные этапы своего развития, которые характеризовались типом используемой технологии (коммутируемый доступ, асимметричная цифровая абонентская линия, оптоволоконный кабель или мобильная инфраструктура), высокой скоростью распространения и частотой смены одной технологии другой.

1.2.1. Основные модели диффузии одной технологии и их модификации

Процесс распространения технологий обычно моделируется двумя функциями, описывающими кумулятивное и некумулятивное распространение продукта. Кумулятивная функция $F(t)$ представляет собой общее количество

пользователей, принявших технологию к моменту времени t . Ее производная в период t , обозначаемая как $f(t)$, представляет собой количество новых пользователей технологии в период t [45].

Предполагается, что если кумулятивное число принявших инновацию нанести на график в зависимости от времени, то получится S-образная кривая (см., например, статьи Ц. Гриллехеса [46], Э. Мэнсфилда [47], Д. Сахала [48], А. Е. Варшавского [49]). Когда эта кривая достигает своей асимптоты, процесс диффузии завершается. S-образные кривые неравномерны. Роджерс в своей работе отмечал, что разные инновации отличаются разным наклоном S-кривой. Кривые одной и той же инновации также различаются в разных социальных системах.

Для описания диффузии большого спектра новых технологий (в том числе ИКТ) используются S-образные кривые различных видов. Выбор типа функциональной зависимости и количественная оценка параметров модели в каждой стране зависит от целого ряда факторов: сложившейся инфраструктуры, методов регулирования, уровня конкуренции, демографических и социально-экономических факторов. Наиболее часто для описания распространения ИКТ, помимо модели Басса, используются следующие виды моделей:

1. логистическая модель (кривая Перла-Рида) [50]:

$$F(t) = \frac{a}{(1 + \exp(-b - ct))} \quad (1.6)$$

2. модель Гомпертца [51]:

$$\frac{dF(t)}{dt} = kF(t) \ln\left(\frac{\alpha}{F(t)}\right) \text{ или } F(t) = \alpha \exp(-\beta e^{-kt}) \quad (1.7)$$

Эта функция имеет точку перегиба при $t^* = (\ln \beta) / k$, коэффициент α показывает рыночный потенциал технологии.

3. модель Фишера-Прая [52]

$$F(t) = \frac{L}{1 + \beta \exp(-bt)}, \quad (1.8)$$

где $F(t)$ – прогнозируемая переменная, L – верхний предел для Y , β , b – параметры)

4. модель Ричардса [53]

$$F(t) = \frac{A}{(1+B \exp(C*t))^{1/D}} \quad (1.9),$$

имеет 4 параметра,

где A – верхняя асимптота,

C - темп роста;

B - точка перегиба на оси X ,

D - параметр, который частично определяет точку перегиба на оси Y .

5. модель Колмана (Coleman, [54])

$$\frac{dF(t)}{dt} = C(L - F) \text{ или } \ln \frac{F(t)}{L-F(t)} = C_1 + C_2 t \quad (1.10)$$

Весь период диффузии можно разделить на четыре фазы со своими характерными чертами: начальная фаза, фаза роста, фаза насыщения и фаза устаревания технологии и вытеснения ее с рынка. Особую роль играет нижний пороговый уровень проникновения. Если технология достигла этого уровня, она будет продолжать развиваться до стадии устаревания. По мнению ряда исследователей, практически пороговый уровень составляет 10% от потенциала рынка [55].

Выбор кривой зависит от основной динамики моделируемого процесса. Если наклон логистической кривой является функцией как текущего уровня технологии, так и разницы между текущим уровнем и верхним пределом, то для кривой Гомпертца наклон является функцией только разницы между текущим значением и верхним пределом. Кривая Гомпертца чаще применяется для прогнозирования абсолютных характеристик технологий (например, скорость, точность, дальность и т.д.).

Дальнейшие модификации базовых моделей направлены, с одной стороны, на учет внешних воздействий экзогенных переменных, с другой стороны, на отказ от некоторых ограничений базовых моделей (например, постоянство рыночного потенциала технологии, однородность среды ее распространения и др.).

Так, например, в обобщенной модели Басса [56] была введена функция внешнего воздействия $x(t)$, с помощью которой появилась возможность учитывать влияние экзогенных переменных на процесс диффузии, а само уравнение (1.11) приняло вид:

$$\frac{dF(t)}{dt} = [M - F(t)]\left[p + \frac{q}{M}F(t)\right]x(t) \quad (1.11),$$

откуда общее число принявших инновацию описывается соотношением:

$$F(t) = M \frac{\left\{1 - e^{-(p+q) \int_0^t x(\tau) d\tau}\right\}}{\left\{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q) \int_0^t x(\tau) d\tau}\right\}} \quad (1.12)$$

Для $x(t)=1$ уравнение сводится к классической модели Басса, если $x(t)>1$, то процесс диффузии ускоряется с течением времени, если $x(t)<0$, то, соответственно, замедляется.

В настоящее время исследователи предлагают различные способы описания функции внешнего воздействия в обобщенной модели Басса. Например, в работе Guseo и др. [57] предложено моделировать ее с помощью нескольких экспоненциальных разрывов (шоков):

$$x(t) = 1 + c_1 e^{b_1(t-a_1)} I_{t \geq a_1} + c_2 e^{b_2(t-a_2)} I_{t \geq a_2}, \quad (1.13)$$

где a_i ($i=1,2$) обозначает время начала разрыва, b_i ($i=1,2$) описывает эффект продолжительности и c_i ($i=1,2$) контролирует интенсивность возмущений. Для значений параметра $b_i < 0$ процесс затухает, возвращаясь к среднему значению (т.е. $x(t)=1$). Если $b_i > 0$, то такой процесс описывает постоянное ускорение жизненного цикла инновации.

Другие исследователи предложили ряд альтернативных структур для представления функции $x(t)$, которые описываются разрывами экспоненциальной или прямоугольной формы, или с помощью обоих типов разрывов одновременно [58].

Пример модели с учетом ценовых факторов приведен в статье [59], в которой базовая логистическая модель и имеет вид:

$$F(t) = \frac{M \exp(-\alpha \ln(P_t/P_0))}{(1 + \exp(-(a+bt)))}, \quad (1.14)$$

где P_t – цены на технологию или продукт в момент времени t , P_0 – цены в начальный момент времени, M – потенциал рынка, α , a и b – параметры модели. Авторами было получено, что снижение цен играет существенную роль на увеличение скорости диффузии в слаборазвитых странах, особенно если они являются политически стабильными и имеют высокий образовательный уровень населения.

В работе Скиадаса [60] предложена асимметричная модель вида:

$$\ln(f + g) - \sigma \ln(F - f) = c + bt, \quad \sigma \geq 0, b, F > 0, \quad (1.15)$$

где f – число принявших новую технологию в году t ,

F – общее число принявших технологию к моменту t ,

b – параметр диффузии,

σ – безразмерная величина, мера асимметрии модели,

g – переменная, отражающая влияние внешних сил, которая может быть положительной или отрицательной, $c = \ln(f_0 + g) - \sigma \ln(F - f_0)$, f_0 – значение f при $t=0$. В

дифференциальной форме

$$\frac{df}{dt} = b \frac{(F-f)(f+g)}{F-f+\sigma(f+g)}. \quad (1.16)$$

Модель была применена в работе [61] для оценки диффузии технологии мобильной связи в странах ЕС.

В последнее время появилось новое поколение модифицированных моделей диффузии, которые используют методы динамического программирования и имитационного моделирования, могут включать экзогенные переменные или проводить анализ на микроуровне с помощью агентно-ориентированных моделей (например, [63, 64]).

Как подчеркивалось выше, огромную роль в распространении технологических инноваций играют ИКТ, сами являющиеся технологическими инновациями. Исследованию особенностей распространения ИКТ как в странах с различным уровнем дохода на душу населения, так и в различных регионах одной страны, посвящены многие работы (например, статьи [65], [66], [67], [68], [69],

[70]). Также исследуются факторы, влияющие на степень распространения ИКТ по различным возрастным категориям, среди городских и сельских жителей ([71]), влияние географического фактора на распространение инноваций ([72]). В ряде работ исследуется влияние социально-экономических факторов на процесс диффузии (например, [73, 74]).

Однако большинство доступных моделей диффузии являются детерминированными по своей природе и не учитывают различные стадии распространения технологий. В их основе лежат предположения о постоянстве параметров модели и верхнего предела распространения технологий на всем рассматриваемом периоде. В таких условиях, как было отмечено рядом авторов, диффузионные модели не дают надежных и точных результатов (см., например, [75]).

В связи с этим, для получения наиболее точного прогноза актуальным является моделирование диффузии ИКТ с учетом верхнего предела распространения технологий, зависящего от стоимостных и технологических преимуществ внедрения новых продуктов.

1.2.2. Модели диффузии конкурирующих технологий

Для многих процессов распространения важное значение имеет взаимное влияние различных инноваций или технологий. Различают шесть качественных моделей взаимодействия технологий [75]: чистая конкуренция; хищник-жертва; симбиоз; паразитизм; комменсализм; нейтрализм. Для моделирования таких взаимодействий используются системы связанных логистических уравнений (модели Фишера-Прая [52], Лотки-Вольтерры [76], Нортон-Басса [77] и др.).

Так, модель Лотки-Вольтерры описывает развитие системы из двух конкурирующих технологий по принципу «хищник-жертва» [76]:

$$\begin{cases} \frac{dy_1(t)}{dt} = (a_1 + b_1 y_1(t) + c_1 y_2(t)) y_1(t) \\ \frac{dy_2(t)}{dt} = (a_2 + b_2 y_2(t) + c_2 y_1(t)) y_2(t) \end{cases} \quad (1.17)$$

где $y_1(t)$ и $y_2(t)$ представляют собой количество пользователей технологией 1 и 2 соответственно,

a_i является логистическим параметром геометрического роста для технологии i ,

b_i – параметр ограничения емкости рынка технологии i ;

c_i характеризует взаимодействие между технологиями ($i=1, 2$).

Для случая многих конкурирующих технологий может быть использована модель Фишера-Прая в виде [78]:

$$\ln \frac{f_i(t)}{f_j(t)} = k_{ij} - c_{ij}(t - t_0), \quad (1.18)$$

$\sum_i f_i(t) = 1$, где t_0 – начальный момент времени, $f_i(t)$ – доля рынка конкурирующей технологии i в момент времени t .

При исследовании распространения ИКТ особое внимание уделяется анализу конкуренции ФШДИ и МШДИ, решению вопроса, является ли мобильный доступ дополнением или заменой фиксированного. В частности, в статье [79] установлен эффект взаимодополняемости между МШДИ и ФШДИ для некоторых видов использования интернета (просмотра веб-страниц, потокового видео, игр, облачных сервисов), а также эффект замещения фиксированного доступа мобильным для социальных сетей и потоковой передачи музыки.

В работе [80] предложена модифицированная модель Басса с учетом конкуренции, которая содержит допущение, что потенциальный размер рынка и внешнее влияние увеличиваются с ростом числа конкурентов. В работе [81] проведен анализ диффузии ФШДИ и МШДИ с помощью кривой Гомпертца по 78 странам за период 1978-2014 гг. В результате исследования авторами было получено, что уровень доходов на душу населения является важнейшим фактором, определяющим скорость и верхнюю границу распространения ФШДИ. Полученные ими прогнозы в ряде случаев оказались завышенными. Так, например, уже с 1 квартала 2014 г. на первое место в мире по уровню распространения МШДИ вышла Япония, а в ряде стран, согласно статистике, уже достигнута точка насыщения этой технологии. Поэтому целесообразно рассмотреть диффузию

ФШДИ и МШДИ в качестве конкурирующих технологий и оценить влияние социально-экономических факторов на скорость их распространения.

1.2.3. Пространственно-временные модели диффузии

Распространение инновации происходит одновременно во времени и пространстве. Пространственное измерение играет ключевую роль во многих социальных явлениях. Неравномерность в развитии и характеристиках объектов создает пространственную дифференциацию. Этот подход используется в разных видах исследований: в географических моделях распределения, в моделях распространения знаний, языка или религиозных убеждений.

В области социальных наук понятие диффузии часто ассоциируется с понятием инноваций. Многие диффузионные модели относятся к классу моделей распространения эпидемий и могут использоваться для объяснения того, как инновации распространяются во времени, с какой скоростью и что может их остановить [45]. Другое направление рассматривает пространственное распространение инноваций из области высокой плотности принятия новшества в область низкой плотности в результате взаимодействия между принявшими и не принявшими инновацию субъектами. Выделяют три пространственные модели распространения: волна инноваций, иерархический эффект и эффект соседства (см., например, [82, 83]). Иерархический эффект наблюдается, когда инновация распространяется сначала на крупные города, затем на близлежащие города среднего размера, и в последнюю очередь - на небольшие города и сельские районы. Волновой эффект возникает при перетекании потенциала для инноваций из областей с высоким его значением в области с низким потенциалом. При этом факторам, благоприятствующим диффузионным и инновационным процессам, (интенсивность знаний, капиталоемкость, доступность рынка, организационные и логистические структуры) уделяется повышенное внимание [84].

Эффект соседства и иерархический эффект, например, были применены в работе [85]. Некоторые модели пространственной диффузии основаны исключительно на влиянии расстояния на диффузионный процесс. Как правило,

распространение инноваций идет из инновационного центра в отдаленные регионы. Например, в статье [86] для описания распространения сельскохозяйственной техники в США в качестве пространственной переменной было выбрано местоположение штата и предполагалось существование эффекта соседства: чем дальше находится территория от инновационного центра, тем меньше в нем доля принявших инновацию.

Другим подходом к изучению пространственной диффузии инновации является модель пространственной гравитации. Она измеряет взаимодействие между регионами «силой гравитации»: чем больше взаимодействия между инновационным центром и регионом, тем раньше инновация принимается в регионе. Модель пространственной гравитации в статье [87] основывалась на показателе:

$$Y_{ij} = K \frac{P_i P_j^{a_j}}{\exp(-b D_{ij})},$$

где Y_{ij} – «сила гравитации» между регионами i (инновационным центром) и j , P_i , P_j – численность населения региона i и j соответственно, D_{ij} – расстояние между регионами. С помощью такого «индекса гравитации» оценивался год принятия технологии мобильной связи в странах ЕС.

Волновое распространение инноваций, основанное на модели, называемой в физических исследованиях моделью «реакция-диффузия», рассмотрено в работе [88]. Для описания диффузии инноваций предложена модель вида:

$$\frac{\partial F(x,t)}{\partial t} = D(x)\Delta F + \alpha(P(x) - P(x)F(t)) + \beta K(x)(1 - F(t))F(t),$$

где $F(x,t)$ – доля принявших инновацию в момент времени t , $\Delta F = \partial^2 F / \partial x^2$, константы α и β представляют доли инноваторов и имитаторов. Параметр $P(x)$ является вероятностью того, что инновация будет принята в результате собственного тестирования ее эффективности, а параметр $K(x)$ представляет влияние имитации на распространение инновации. Диффузионная часть $D(x)\Delta F$ описывает распространение инноваций в пространстве. Параметр $D(x)$ может интерпретироваться как мера среднего информационного поля или

пространственный масштаб сети социального взаимодействия населения. $P(x)$, $K(x)$ и $D(x)$ предполагаются изменяющимися по регионам. Таким образом, предложено пространственно-диффузионное расширение эпидемического подхода, позволяющее определить, как неоднородность во внешних экономических факторах может влиять на оптимальные сроки принятия инновации [45]. Однако применимость такой комбинированной модели ограничена недостатком информации, и авторы тестировали ее только на устаревших данных.

Модели диффузии технологий совершенствуются и усложняются, но при этом для каждой страны и каждой технологии существует своя форма зависимости. Особенностью ИКТ является сокращение их жизненного цикла, сосуществование конкурирующих технологий и устройств. Поэтому для более точного прогнозирования распространения новой ИКТ необходимо использовать всю имеющуюся информацию (включая библиометрический и патентный анализ), сравнить характер распространения этой технологии в других странах, оценить влияние социально-экономических факторов на скорость и уровень ее распространения, учесть влияние конкурирующих технологий и возможные последствия ее широкого распространения для рынка труда и экологии. Необходимо также учитывать технико-экономические показатели технологий для каждой страны, их изменение по мере увеличения доли пользователей. Для повышения качества прогноза кажется целесообразным использование показателей социально-экономической неоднородности субъектов исследования, для чего следует применить пространственно-временные модели диффузии.

Для анализа диффузии ИКТ по ФО РФ необходимо учитывать специфику их экономического и социального развития.

1.3. Методология исследования

1.3.1. Основные источники информации

Основными источниками данных по распространению ИКТ, которые использовались в расчетах в диссертации, являются статистические сборники

Росстата, сборники НИУ ВШЭ в партнерстве с Минцифры России и Росстатом, данные Всемирного банка (The World Bank), ОЭСР и другие источники информации, приведенные ниже.

В качестве источника информации для анализа распространения ИКТ в России были взяты данные Росстата по использованию цифровых технологий населением (по регионам России) и организациями (по регионам России и по видам экономической деятельности).

Информационную базу исследования составили:

- официальная статистика Росстата («Регионы России» [22], «Российский статистический ежегодник» [30], сборники «Информационное общество в Российской Федерации» 2015-2020 гг. [28], сведения об использовании информационных и коммуникационных технологий и производстве вычислительной техники, программного обеспечения и оказания услуг в этих сферах [24], результаты выборочного федерального статистического наблюдения по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей 2013-2021 гг. [14], данные Мониторинга развития информационного общества в Российской Федерации [29]);
- сборники ВШЭ «Индикаторы цифровой экономики» 2017-2022 гг., «Индикаторы информационного общества» 2009-2016 гг., «Цифровая экономика: краткий статистический сборник» 2018-2022 гг. [7,10,17,28,29];
- статистические базы данных Всемирного банка (The World Bank) [89]; базы данных Международного союза электросвязи (International Telecommunication Union) [90], базы данных ОЭСР [91]; база данных Eurostat [92]; отчеты и статистические публикации Национального научного фонда США (NSF) [93].

1.3.2. Методологическая основа исследования

Методология анализа распространения ИКТ, разработанная в данной диссертации, предусматривает следующую последовательность действий.

1. Экономико-математический анализ влияния ИКТ на социально-экономическое развитие России и ее ФО.

Проводится экономико-статистический анализ уровня развития ИКТ в России в целом и ее ФО, сопоставляется цифровизация отраслей экономики страны, влияние, оказываемое сектором ИКТ на социально-экономическое развитие.

2. Эконометрический анализ общих закономерностей распространения ИКТ.

Осуществляется исследование распространения технологии на рынке, определяются верхний предел ее распространения и время его достижения. Выявляются основные технико-экономические показатели технологии, их динамика, особенности для разных стран и регионов. Проведенный анализ позволил выделить факторы, которые оказывали наиболее значимое влияние на распространение интернета в разных странах и в ФО РФ.

3. Построение моделей распространения интернета по странам и группам стран, по ФО РФ.

По имеющимся данным сравниваются различные модели S-образных кривых распространения интернета. На основе полученных оценок параметров этих моделей выбираются наиболее точно описывающие данные в ретроспективе, после чего делается прогноз распространения технологий на среднесрочный период.

4. Построение экономико-математических моделей конкуренции между ИКТ.

Выявляются наличие технологий-конкурентов и качественные характеристики, определяющие преимущество или недостатки технологий с точки зрения потребителей, социально-экономические факторы, способствующие или препятствующие распространению технологий на рынке. С точки зрения пользователей основными показателями, характеризующими доступ в интернет, являются средняя скорость загрузки-выгрузки информации, задержка сигнала, стоимость доступа или единицы трафика. С точки зрения компаний, обеспечивающих доступ в интернет, такими факторами и показателями являются

капитальные вложения, необходимые для создания и поддержания инфраструктуры, количество пользователей технологии, выручка, полученная от одного клиента, наличие компаний-конкурентов. Делается обоснованный вывод о влиянии конкурентов на изучаемую технологию и прогнозируется распространение технологии с учетом всех внешних и внутренних факторов.

5. Построение пространственно-временных моделей распространения ИКТ. Для моделирования пространственного распространения ИКТ выбираются факторы, в наибольшей степени влияющие на процесс диффузии. В главе 3 на основе теории сингулярных возмущений построено решение пространственно-волновой модели распространения ИКТ, являющейся развитием модели Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова. Получены оценки параметров этого решения для распространения интернета, ФШДИ и МШДИ по странам с разным уровнем дохода населения, по странам одного региона, по ФО РФ. На основе построенных моделей оценивается скорость волнового распространения технологии, определяется время задержки распространения технологии в регионах относительно региона-лидера.

Выводы по главе 1

Проанализирован уровень распространения ИКТ в ФО РФ.

Показано существование значительной дифференциации между распространением передовых ИКТ в Москве и Санкт-Петербурге и ФО России, что отражается в разной степени использования потенциала цифровых технологий для экономического развития в регионах страны. Уровень распространения интернета, ШДИ, мобильной связи, развитость систем электронного государственного управления в настоящее время во многом определяют доступность образования, здравоохранения, возможности для ведения бизнеса, дистанционной работы (что проявилось в условиях пандемии коронавируса) и повышения эффективности производства. Доступность ШДИ (фиксированного и мобильного), рассчитываемая как отношение ежемесячного тарифного плана к среднедушевым

денежным доходам населения, во многих ФО была значительно меньше, чем в Москве и Санкт-Петербурге, причем к настоящему времени это положение еще сохраняется.

Дифференциация регионов России по уровню использования ИКТ для бизнеса характеризуется высоким уровнем концентрации затрат организаций на эти цели в ЦФО, которые в 2022 г. в расчете на 1 занятого в 1,7 раза превосходили показатель по России в целом. По всем остальным округам эти затраты были ниже среднероссийского уровня (в СКФО – в 14,3 раза, в ЮФО – в 5,8 раза).

Разработан показатель «цифровизации» отраслей экономики и ФО РФ, позволяющий провести детальный анализ взаимосвязи между уровнем развития ИКТ в них и основными социально-экономическими показателями.

На основе разработанного показателя выделены три группы ФО: с высоким, средним и низким показателем «цифровизации». Проведенный анализ показал положительную корреляцию между показателем «цифровизации» отраслей и ФО РФ и их затратами на ИКТ, в первую очередь – с затратами на приобретение вычислительной техники и на оплату услуг связи и доступа в интернет.

Проанализированы основные модели и их модификации для описания процесса диффузии ИКТ.

Анализ работ российских и зарубежных исследователей показывает, что не существует единых принципов моделирования диффузии ИКТ, каждая новая технология имеет свои особенности распространения. При построении моделей диффузии технологий в большей степени учитываются внешние факторы, влияющие на процесс (уровень общего экономического развития страны, политика правительства по поддержке новых технологий и др.). В то же время необходимо учитывать и особенности самой технологии, условия, необходимые для ее распространения, сильные и слабые стороны. В связи с этим является актуальным:

экономический В анализ отдельных ИКТ;

разработка моделей, учитывающих как внешние, так и внутренние факторы, влияющие на их распространение;

выбор моделей, наиболее точно описывающих особенности процесса диффузии, для построения прогнозных сценариев развития анализируемых технологий по отдельным странам или ФО РФ.

Предварительно следует определить факторы, влияющие на скорость и уровень распространения технологий. При моделировании необходимо использовать всю имеющуюся информацию, включая данные патентного и библиометрического анализа. Для повышения качества оценки диффузии ИКТ следует разработать пространственно-временные модели, учитывающие социально-экономическую неоднородность субъектов исследования (их пространственную дифференциацию).

ГЛАВА 2. ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИФФУЗИИ ИКТ

Цель настоящей главы диссертации состоит в моделировании распространения ИКТ в странах с разным уровнем доходов населения и в ФО РФ, а также в выявлении факторов, влияющих на скорость и масштабы распространения этих технологий. Применяются различные подходы к моделированию, в том числе для описания распространения конкурирующих технологий, для учета влияния внешних факторов на процессы диффузии, несимметричные модели диффузии ИКТ.

В качестве объектов исследования рассматриваются технологии, представленные на рис.2.1.



Рисунок 2.1 - Рассматриваемые в диссертации ИКТ.

2.1. Моделирование диффузии отдельной технологии

Время распространения новых технологий на рынке неодинаково: некоторые быстро проникают на рынок, другим требуется гораздо больше времени, третьи не доходят до стадии коммерциализации. На скорость диффузии влияют разные факторы. Например, сложность технологии, необходимость наличия у пользователей определенных технических навыков, могут снижать ее скорость распространения и рыночный потенциал [94].

Для скорейшего распространения новая технология должна обладать рядом свойств: относительным преимуществом перед предыдущим поколением; полезностью, достаточной простотой использования; возможностью предварительной оценки со стороны потребителей. Кроме того, диффузия новой технологии в каждой стране может зависеть от наличия географических соседей, уже использующих данную технологию, конкуренции со стороны других технологий, общего образовательного уровня населения, на нее может влиять политическая обстановка в стране и другие факторы. Таким образом, наряду с микроэкономическими (технологическими) факторами, связанными с характеристиками продукта или технологии, темпы распространения технологии или нового продукта в стране зависят от макроэкономических и демографических факторов. Экономические факторы могут оказывать как прямое воздействие на процесс диффузии, так и опосредованное, через технологические факторы [94].

В работе Маһајан и др. [95] предложена методика распределения принимающих новшество по 4 группам в зависимости от времени принятия новшества, основанная на предположениях модели Басса о наличии инноваторов и имитаторов. Помимо времени достижения пика траектории (T^*)

$$T^* = -\frac{1}{p+q} \ln \left(\frac{p}{q} \right),$$

где p – коэффициент инновации, q – коэффициент имитации, были выделены точки T_1 и T_2 , в которых $Y'' = 0$:

$$T_1 = -\frac{1}{p+q} \ln \left[(2 + \sqrt{3}) \frac{p}{q} \right]$$

$$T_2 = -\frac{1}{p+q} \ln \left[\frac{1}{(2 + \sqrt{3})} \frac{p}{q} \right]$$

Используя эти три временных периода, авторы разделили всех принявших технологию на 4 группы: ранние последователи, раннее большинство, позднее большинство и отстающие (табл.2.1). Ранние последователи – это страны, чей уровень распространения технологии был равен $Y(T_1)-p$, для раннего большинства $Y(T^*)-Y(T_1)$, позднего большинства – $Y(T_2)-Y(T^*)$, отстающих – $1-Y(T_2)$.

Таблица 2.1 - Аналитическое выражение для определения категорий пользователей технологией согласно [95]

Категория принявших технологию	Временной интервал согласно модели Басса	Выражение для нахождения временного интервала	Выражение для определения размера категории
инноваторы	$T=0$	-	p
ранние последователи	$<T_1$	$\ln(2+\sqrt{3}) * p/q / (p+q)$	$\frac{1}{2} \left(1 - \frac{p}{q}\right) - \frac{1}{\sqrt{12}} \left(1 + \frac{p}{q}\right) - p$
раннее большинство	T_1-T^*	$\frac{1}{p+q} \ln \left(\frac{p}{q}\right)$	$\frac{1}{\sqrt{12}} \left(1 + \frac{p}{q}\right)$
позднее большинство	T^*-T_2	$\ln(2+\sqrt{3}) / (p+q)$	$\frac{1}{\sqrt{12}} \left(1 + \frac{p}{q}\right)$
отстающие	$>T_2$	-	$\frac{1}{2} \left(1 + \frac{p}{q}\right) - \frac{1}{\sqrt{12}} \left(1 + \frac{p}{q}\right) - p$

2.1.1. Моделирование с помощью S-образных кривых

Предложенный Mahajan и др. подход к распределению пользователей инноваций по категориям в соответствии с коэффициентами инновации и имитации модели Басса, применен в диссертации для выделения 5 групп стран по отношению к распространению интернета (табл. 2.2). Были рассмотрены

показатели распространения интернета в 185 странах мира. К группе инноваторов и ранних последователей следует отнести развитые страны или страны с высоким доходом на душу населения по версии World Bank (High Income, НИС), к группе раннего большинства – страны со средним и выше среднего доходами населения (Middle Income, МИС и Upper Middle Income, УМС), к позднему большинству – страны с уровнем доходов ниже среднего (Lower Middle Income, ЛМС), и к отстающим – страны с низким уровнем доходов на душу населения (Low Income, ЛИС).

Таблица 2.2 - Распределение стран на группы по уровню распространения интернета

Группа стран по уровню распространения интернета	Задержка распространения относительно 1990 г., лет	Оценка размера категории, %
Инноваторы (развитые страны, 6 стран – США, Норвегия, Австралия, Швейцария, Швеция и Финляндия)	0	3,2
ранние последователи (остальные развитые страны, 25 стран, в т.ч. Япония, Франция, Германия, Южная Корея и др.)	1	13,5
раннее большинство (страны со средним уровнем доходов, 46 стран, в т.ч. Россия, Аргентина, Китай и др.)	4	24,9
позднее большинство (страны со средним или ниже среднего уровнем доходов, 80 стран, в т.ч. Латвия, Литва, Ангола, Конго, Вьетнам и др.)	6	43,2
отстающие (страны с низким уровнем доходов населения, 28 стран, в т.ч. Киргизия, Туркмения, Таджикистан и др.)	>6	15,1

Оценка параметра ρ в формуле (1.5) в целом по всем странам мира составила около 1%, в связи с этим была рассмотрена зависимость между временем

достижения страной уровня распространения интернета в 1% и логарифмом ВВП на душу населения по ППС в постоянных ценах 2011 г. (рис.2.2).

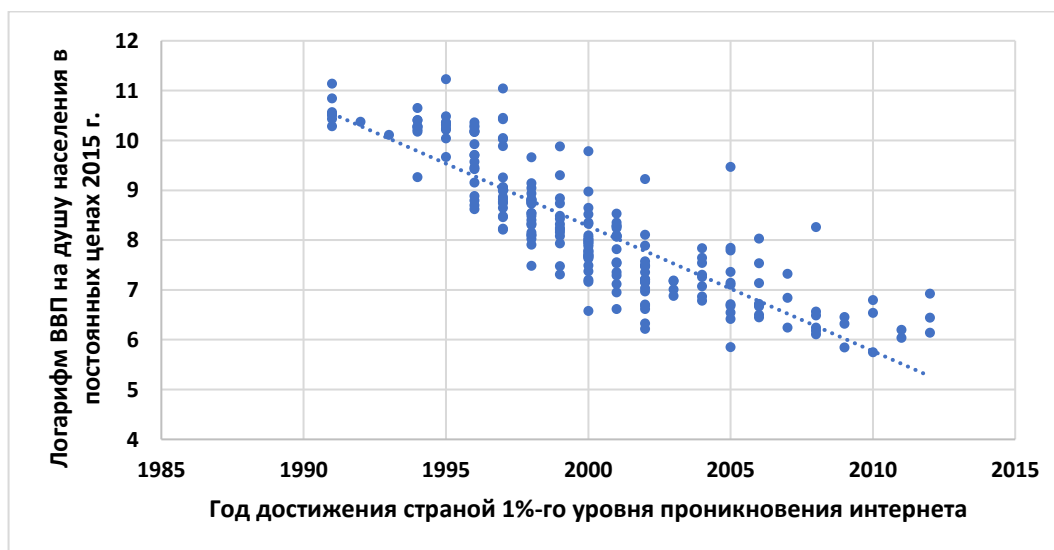


Рисунок 2.2 - Зависимость между годом достижения страной 1%-ного уровня распространения интернета и логарифмом ВВП на душу населения (в тыс. долл., в постоянных ценах 2015 г.).

На рис. 2.2 по оси X отмечен год, в котором уровень распространения интернета в стране превысил 1% (доля пользователей интернета на 100 жителей страны), по оси Y – значение логарифма ВВП на душу населения в постоянных ценах 2015 г. в стране в соответствующий год (по данным World Bank).

Между рассматриваемыми переменными по выборке из 185 стран получена следующая регрессионная зависимость [96]:

$$Y = 510,3 - 0,251 * t, R^2 = 0,73,$$

(24,5) (-24,1)

где t – год достижения страной 1%-ного уровня распространения интернета,
 Y - логарифм ВВП на душу населения в постоянных ценах 2015 г. в год t .

Полученная зависимость показывает, что чем ниже уровень ВВП на душу населения в стране, тем позже технология интернета преодолевает 1%-ный рубеж.



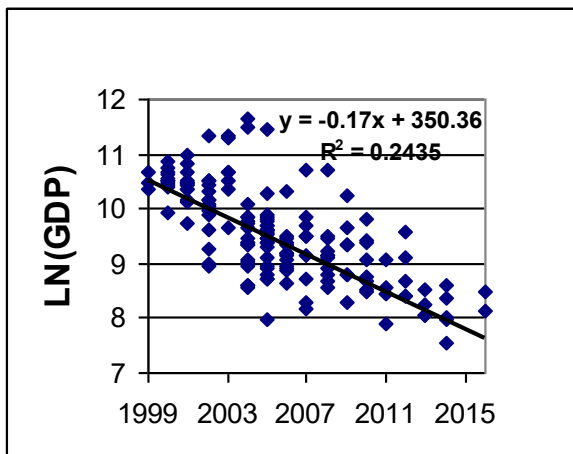
Рисунок 2.3 - Зависимость между годом достижения страной 10%-ного уровня распространения интернета и логарифмом ВВП на душу населения (в тыс. долл., в постоянных ценах 2015 г.).

Для стран, достигших показателя распространения интернета в 10%, получена зависимость между годом преодоления рубежа и величиной логарифма ВВП на душу населения в постоянных ценах 2015 г. (см. рис.2.3):

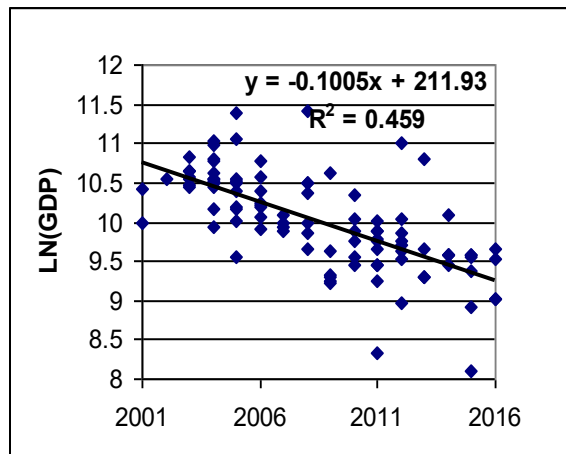
$$Y = 371,6 - 0,181 * t, R^2 = 0,79,$$

(29,8) (-29,1)

Аналогичная связь существует и для технологии фиксированного широкополосного доступа в интернет (рис.2.4 а, б).



а)



б)

Рисунок 2.4 - Зависимость между годом достижения страной 1%-ного (а) и 10%-ного (б) уровня распространения технологии широкополосного фиксированного доступа в интернет и логарифмом ВВП на душу населения страны

2.1.1.1. Оценка параметров разностного варианта модели Басса

При моделировании диффузии интернета по группам стран с различным уровнем дохода в настоящей диссертации был применен разностный вариант модели Басса (1.5), где предполагается, что за 1 год $dF(t)/dt \approx F(t) - F(t-1)$. В разностной форме уравнение (1.5) имеет вид:

$$F(t) = pM + (1 + q - p)F(t - 1) - \frac{q}{M}F(t - 1)^2, \quad (2.1)$$

где M - общее число потенциальных потребителей технологии,
 $F(t)$ – кумулятивная сумма всех пользователей технологией в момент t ,
 p – коэффициент инновации,
 q – коэффициент имитации.

Оценка параметров модели производилась на основании данных World Bank за период 1990-2020 гг. для диффузии интернета и за период 2000-2020 гг. для распространения широкополосного доступа в интернет [89] (табл. 2.3).

Таблица 2.3 - Оценка параметров модели (2.1) распространения интернета и широкополосного доступа в интернет по группам стран

Группы стран		Диффузия интернета					Диффузия широкополосного доступа в интернет				
		M	q	p	SSE ¹⁵	R ²	M	q	p	SSE	R ²
Страны с высоким уровнем дохода	параметр	87,3	0,21	0,021	73,7	0,51	36,0	0,15	0,061	5,7	0,68
	t-стат.	29	5,8	2,9			22,4	3,2	5,3		
Страны со средним уровнем дохода	параметр	78,4	0,18	0,003	12,3	0,80	19,6	0,18	0,013	1,6	0,44
	t-стат.	16,5	13,4	1,3			3,7	2,7	2,0		

¹⁵ SSE – сумма квадратов ошибок

Страны	параметр	24,7	0,34	0,0001			0,44	0,64	0,0001		
низким уровнем дохода					2,2	0,88				0,004	0,61
	t-стат.	13,9	11,2	0,002			26,4	7,0	0,01		

В странах с низким уровнем доходов процесс диффузии интернета начался позже. Если в странах с высоким уровнем доходов населения (группа 1) уже в 1990 г. на 100 человек приходилось в среднем 0,23 пользователя интернета, то для стран со средним уровнем доходов (группа 2) процесс распространения интернета начался в 1993 г., а для стран с низким уровнем доходов (группа 3) – в 1997 г. В то время как страны группы 1 прошли пик развития данной технологии, и процесс ее распространения замедлился, приблизившись к точке насыщения, для стран группы 3 характерен продолжающийся рост. Значение коэффициента имитации (q) для группы 3 самое высокое из рассматриваемых групп, а коэффициент инновации (p) – самый низкий. Аналогично развивается технология широкополосного доступа в интернет по приведенным выше группам стран (табл.2.3) [41].

Для выборки из 80 стран и регионов были рассчитаны параметры моделей Басса распространения интернета за период 1990-2021 гг. (Приложение 2), широкополосного доступа в интернет за период 2000-2021 гг. и оценена корреляция между параметрами моделей и средним за рассматриваемый период показателем логарифма ВВП на душу населения в ценах 2015 г. Наиболее тесной оказалась зависимость между логарифмом ВВП на душу населения и коэффициентом инновации p (0,647 – для интернета и 0,64 – для широкополосного доступа в интернет), а также потенциалом рынка M для распространения интернета (0,514). В то же время отмечается слабая отрицательная корреляция между логарифмом ВВП на душу населения и коэффициентом имитации q для распространения как интернета, так и широкополосного доступа в интернет.

Одно из отличий распространения широкополосного доступа в интернет – отсутствие большой временной задержки в начале его распространения в странах

2-ой и 3-ей группы по сравнению с 1-ой. В целом же, как и для диффузии интернета, для группы 3 получен самый высокий коэффициент имитации (q).

Однако и внутри групп степень распространения технологий во многом зависит от экономического развития страны [41]. Самый низкий потенциал рынка интернета M был получен для Афганистана (22,8 пользователя интернета на 100 человек населения страны), широкополосного доступа в интернет – для Таджикистана (1 пользователь на 1000 человек населения страны). Для Индии был получен самый высокий потенциал рынка для распространения интернета (135,5 на 100 жителей страны), самый большой коэффициент инновации был получен для Китая (0,395) (см. Приложение 2).

2.1.1.2. Логистическая модель и модель Гомпертца

Для описания процесса распространения интернета в странах с различным уровнем дохода населения были оценены также логистическая модель (1.6) и модель Гомпертца (1.7) (табл. 2.4-2.5). Оценка параметров нелинейных уравнений была проведена в пакете Statistica с помощью метода Левенберга-Марквардта. Оценивалось распространение интернета в расчете на 1 жителя страны.

Таблица 2.4 - Оценка параметров логистической модели (1.6) для описания диффузии интернета за период 1990-2021 гг.

Группа стран		a	b	c	R ²	SSE
Страны с высоким уровнем дохода	параметр	0,841	790,0	0,296	0,987	0,043
	t-стат.	58,1	2,4	15,0		
Страны со средним уровнем дохода	параметр	0,81	1211	0,196	0,991	0,01
	t-стат.	11,1	3,1	14,2		
Страны с низким уровнем дохода	параметр	0,31	18019	0,25	0,998	0,0002
	t-стат.	18,2	4,3	29,1		

Таблица 2.5 - Оценка параметров модели Гомпертца (1.7) для описания диффузии интернета за период 1990-2021 гг.

Группа стран		L	a	b	R ²	SSE
Страны с высоким уровнем дохода	параметр	0,88	44,7	0,18	0,995	0,016
	t-стат.	70,8	5,9	21,6		
Страны со средним уровнем дохода	параметр	1,54	17,1	0,07	0,995	0,005
	t-стат.	5,7	6,7	9,1		
Страны с низким уровнем дохода	параметр	1,11	26,1	0,07	0,998	0,0002
	t-стат.	4,0	6,8	9,5		

Анализ полученных результатов показывает, что наилучшее приближение данных диффузии интернета для всех групп стран дает модель Гомпертца.

2.1.1.3. Переменный верхний предел $M(t)$ распространения технологии

Условие постоянства верхнего предела распространения технологий является ограничением использования базовых моделей диффузии, так как во многих случаях на больших интервалах времени это условие не выполняется. Одним из способов решения этой проблемы является включение в базовую модель переменного верхнего предела. Он может зависеть как от макроэкономических факторов, определяющих уровень развития страны (например, ВВП на душу населения по паритету покупательской способности, доля затрат на НИОКР в ВВП или затрат на ИКТ), так и от уровня развития самой технологии (изменение ее технических характеристик).

В данном исследовании была рассмотрена модификация логистической модели (1.6) в виде:

$$F(t) = L \frac{x(t)}{1 + b e^{-k(t-1989)}}, \quad (2.2)$$

где L – верхний предел распространения технологии,

b, k – параметры логистической модели,

$x(t)$ - внешний фактор:

- а) логарифм ВВП на душу населения в постоянных ценах 2017 г.;
- б) логарифм прямых иностранных инвестиций;
- в) плотность населения;
- г) доля городских жителей в населении страны;
- д) доля экспорта высокотехнологичной продукции;
- е) доля безработных в стране.

Оценка параметров модели для разных показателей $x(t)$ приведена в Приложении 3. Для каждой группы стран получены модели, дающие лучшее приближение к исходным данным по сравнению с моделью (1.6). Для стран с высоким уровнем доходов населения наилучшая зависимость была получена для показателя плотности населения, для стран со средними доходами, с доходами выше и ниже среднего наилучшее приближение было получено для показателя доли безработных в стране, для стран с низким уровнем дохода – с показателем логарифма ВВП на душу населения.

Такая модификация логистического уравнения диффузии позволяет не только улучшить качество приближения на ретроспективе, но и выявить факторы, в наибольшей степени влияющие на распространение технологии. Рассматривая возможные изменения этих факторов в будущем, можно строить прогнозы, соответствующие различным сценариям. В табл. 2.6 приведены прогнозы распространения интернета для двух групп стран с использованием фактора, дающего наилучшее приближение по модифицированной логистической модели.

Таблица 2.6 - Сценарные прогнозы распространения интернета в группе стран с низким и средним уровнем доходов населения (количество пользователей в расчете на 1 жителя страны)

Годы	Страны с низким уровнем доходов населения			Страны со средним уровнем доходов населения		
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
2021	0,235	0,235	0,174	0,554	0,554	0,551
2022	0,266	0,256	0,186	0,532	0,518	0,572
2023	0,301	0,282	0,199	0,542	0,525	0,591
2024	0,338	0,307	0,211	0,551	0,531	0,606
2025	0,374	0,331	0,222	0,558	0,535	0,620
2026	0,410	0,354	0,234	0,565	0,539	0,631
2027	0,445	0,374	0,244	0,571	0,541	0,640
2028	0,479	0,393	0,254	0,576	0,543	0,648
2029	0,511	0,409	0,263	0,581	0,545	0,654
2030	0,542	0,423	0,271	0,585	0,546	0,660

Вариант 1 для стран с низким уровнем доходов населения основан на предположении о линейном росте логарифма ВВП на душу населения, вариант 2 рассчитан на основе предположения о постоянстве ВВП на душу населения, и за это постоянное значение принято среднее значение логарифма ВВП на душу населения за период 2015-2021 гг., вариант 3 рассчитан по модели (1.6) для стран каждой группы. Для стран со средним уровнем доходов населения вариант 1 предполагает линейный рост безработицы в соответствии с ретроспективными показателями за период исследования, вариант 2 предполагает постоянной долю безработных, и за этот показатель принято среднее значение за период 2015-2021 гг.

Для стран с низким уровнем доходов населения базовая логистическая модель дает прогноз распространения интернета к 2030 г. до уровня 27,1%, тогда как учет возможного линейного роста логарифма ВВП на душу населения в ценах 2017 г. увеличивает этот прогноз до 54,2%. Для стран со средним уровнем доходов населения, наоборот, базовая модель дает самый оптимистичный прогноз на 2030 г. – 66%, тогда как сохранение уровня безработицы в этих странах на среднем за

период 2015-2021 гг. значения в 5,8%, по построенной модели дает прогноз в 54,6%.

2.1.2. Моделирование диффузии ИКТ с учетом взаимодействия со смежными технологиями

2.1.2.1. Облачные вычисления

Облачные вычисления являются примером относительно новой информационно-коммуникационной технологии, по которой отсутствует подробная статистическая информация за длительный период времени (неполная информация по странам имеется только начиная с 2013-2014 гг.). Период пандемии коронавируса дал толчок ускорению их распространения, спрос на облачные услуги вырос многократно. В 2020 г. 61% компаний в мире перенесли часть своей деятельности в облака, в 2022 г. облачные сервисы использовали уже 94% предприятий [96]. Облачные вычисления применялись для расширения услуг и противодействия COVID-19, предоставляя точную и своевременную информацию о медицинских и других важных мерах. Облачные сервисы помогали тысячам практикующих врачей, собирая данные, связанные с COVID-19, и информируя о мерах реагирования. Всеобщее распространение удаленной работы и использование видеоконференцсвязи в период пандемии коронавируса ускорили переход компаний в облако, предоставляя пользователям легкий доступ к сторонним приложениям, масштабируемость, безопасность и возможность продолжить работу во время пандемии COVID-19 и в последующий период. В странах Евросоюза доля предприятий промышленности, использующих облачные услуги, выросла с 17,1% в 2014 г. до 40,1% в 2021 г., в обрабатывающей промышленности – с 17,1% до 39,8% за то же время [92].

Облачные сервисы в странах ЕС используются в большей степени для ведения переписки (79% предприятий, использующих облачные услуги в 2021 г.), организации хранения данных (66%), для приобретения офисного программного обеспечения (61%). Однако в последнее время доля предприятий, покупающих облачные вычисления как услугу (office software), выросло с 5,6% в 2014 г. до

23,1% в 2021 г., программного обеспечения для финансов или бухгалтерского учета (finance or accounting software applications) – с 4,8% до 16,3% за тот же период [92].

По панельным данным, включающим 30 стран (в том числе Россию), была построена регрессионная зависимость распространения облачных сервисов на предприятиях по странам за период 2014-2021 гг. от логарифма ВВП и уровня распространения межмашинного взаимодействия с учетом фактора времени (все расчеты по панельным данным проведены в пакете EViews). Была рассчитана сквозная регрессия, включающая 146 наблюдений, и получена следующая зависимость:

$$Y(t)=0,22*X_1(t)+0,13*X_2(t)+0,019*t-38,3, \quad R^2=0,44, \quad (2.3)$$

(3,6) (6,4) (3,5) (-3,5)

где $Y(t)$ – доля предприятий в стране, использующих облачные сервисы в году t , в общем количестве предприятий промышленности;

$X_1(t)$ – доля предприятий, использующих технологию межмашинного взаимодействия в году t , %;

$X_2(t)$ – логарифм ВВП страны на душу населения в год t в ценах 2017 г.

В связи с неполнотой информации по странам за рассматриваемый период модели с фиксированным эффектом не рассматривались.

Наиболее полная информация по использованию облачных услуг на промышленных предприятиях имелась по странам ЕС. Для 26 стран за период 2014-2021 гг. получена модель вида:

$$Y(t)=0,24*X_1(t)+0,12*X_2(t)+0,019*t-38,8, \quad R^2=0,47, \quad (2.4)$$

(4,0) (5,9) (3,4) (-3,4)

Сравнение стандартизированных коэффициентов регрессии для всей выборки в целом и для стран ЕС (табл. 2.7) свидетельствует о том, что распространение облачных сервисов на предприятиях стран как мира в целом, так и ЕС, в наибольшей степени зависит от логарифма ВВП на душу населения, а влияние распространения межмашинного взаимодействия на распространение облачных услуг выше для европейских компаний, чем в мире в целом.

Таблица 2.7 - Стандартизированные коэффициенты моделей (2.3) и (2.4)

Переменная	Выборка в целом		Страны ЕС	
	Стандартизированные оценки параметров	Стандартные ошибки	Стандартизированные оценки параметров	Стандартные ошибки
X ₁	0,264	0,0725	0,303	0,0755
X ₂	0,432	0,0678	0,415	0,0707
t	0,235	0,0676	0,239	0,0705

По оценкам Европейской комиссии, каждый евро, потраченный на программное обеспечение как услугу (SaaS), заменяет 2,3 евро, потраченных на традиционные продукты для административных решений. Почти 96% лиц, принимающих решения в европейских компаниях, считают, что облачные вычисления сокращают расходы на разработку и техническое обслуживание ИТ-инфраструктуры, снижают операционные расходы и повышают эффективность процесса [97].

2.1.2.2. Распространение мобильных устройств

Мобильные устройства (в том числе смартфоны и планшеты) являются основным средством доступа в интернет для большинства пользователей. В странах ЕС в 2019 г. более 71% пользователей получали доступ в интернет через мобильный телефон или смартфон (в 2014 г. таких пользователей было 41,6%) [92].

По оценкам компании DataReportal, количество пользователей смартфонов в мире выросло с 4,53 млрд человек в 2015 г. до 5,44 млрд человек на начало 2023 г. Более 92% пользователей использовали мобильные устройства для выхода в интернет [98]. Продажи смартфонов по всему миру выросли с 1,2 млрд единиц в 2014 г. до 1,59 млрд в 2021 г., а число пользователей смартфонов в расчете на 100 человек жителей в 2020 г. составило около 67 [99].

С момента появления смартфонов на рынке их цена снизилась с 1000 долл. до 40 долл., что привело к их повсеместному распространению, при этом особенно быстрыми темпами росло проникновение смартфонов в развивающихся странах (с 24 ед. в 2013 г. до 42 ед. на 100 жителей в 2017 г.) [100]. За период 2013-2022 гг. проникновение смартфонов в Индонезии увеличилось почти в 5 раз (с 14 единиц на 100 человек населения страны в 2013 г. до 68,1 в 2022 г.), в Индии – в 3,6 раза, во Вьетнаме – в 3,4 раза, тогда как в США – только в 1,45 раза (рассчитано по данным [101]).

Возможность оставаться на связи в любое время и в любом месте, предоставляемая смартфонами, отвечает современной тенденции к мобильности трудовых ресурсов. Многие мобильные приложения производят данные, которые используются в многочисленных мобильных сервисах (например, в онлайн-картах), для мобильной розничной торговли и др. [102]

Распространение смартфонов оказывается взаимосвязанным с распространением мобильного широкополосного доступа в интернет. По выборке из 36 стран за период 2013-2021 гг. получена следующая зависимость:

$$Y = 0,23 * X + 0,031 * T - 61,8, \quad R^2 = 0,64, \quad (2.5)$$

(9,5) (9,4) (-9,3)

где Y – доля пользователей смартфонов в общей численности населения,
 X – доля пользователей мобильного широкополосного подключения к интернету,
 T – год.

Таким образом, из (2.5) следует, что увеличение распространения мобильного широкополосного доступа в интернет на 1% увеличивает долю пользователей смартфонов на 0,23%. В то же время увеличение продаж смартфонов стимулирует распространение мобильного широкополосного доступа в интернет для удовлетворения растущего спроса на эту технологию со стороны пользователей смартфонов, т.е. имеет место взаимосвязь технологий.

В России уровень распространения смартфонов за период 2013-2022 гг. вырос в 2 раза (с 36,2% в 2013 г. до 73,6% в 2022 г. [101]). Использование

мобильных телефонов, смартфонов, устройств для чтения электронных книг для выхода в интернет было проанализировано на основании данных [14] по федеральным округам Российской Федерации за период 2014-2021 гг. Была построена модель зависимости доли домохозяйств, использовавших эти мобильные устройства для выхода в интернет, от года и уровня распространения мобильного широкополосного доступа в интернет:

$$Y = 0,002 * X + 0,054 * T - 108,063, \quad R^2 = 0,91,$$

(2,5) (11,4) (-11,4)

где Y – доля лиц, использовавших смартфоны или другие мобильные устройства для выхода в интернет,

X – доля пользователей мобильного широкополосного подключения к интернету,

T – год.

Полученная зависимость отражает влияние уровня распространения широкополосного доступа в интернет на количество мобильных устройств, используемых для выхода в интернет. Стандартизированные коэффициенты регрессии (0,8 для T и 0,17 для X) свидетельствуют о большем вкладе временного тренда в прирост доли пользователей смартфонов.

2.1.3. Использование патентной статистики

Облачный сервис позволяет пользователям получать доступ к приложениям, информации и данным в режиме онлайн, обеспечивает более эффективный способ вычислений, позволяет получить информацию и обмениваться ею с широким кругом лиц. В связи с растущим значением облачных систем растет важность патентования в этой области.

В настоящей диссертации было проведено исследование распространения облачных вычислений на основании данных патентной статистики. Поиск осуществлялся в базе патентов World Intellectual Property Organization (WIPO) по ключевым словам «Grid Computing», «Utility Computing», «Web 2.0», «Virtualization», «Virtual Appliances», «Service-Oriented Architecture», «Cloud Computing», «SaaS», «IaaS» и «PaaS» в заглавных страницах описания.

Проведенный анализ (рис.2.6) показал, что количество патентов по технологиям «Service-Oriented Architecture» и «Web 2.0» достигло максимума в 2010 г., количество патентов по тэгу «Virtualization» - в 2017 г., патентование по остальным технологиям продолжает расти. Это говорит о том, что технологии облачных вычислений пока не достигли стадии зрелости [103].

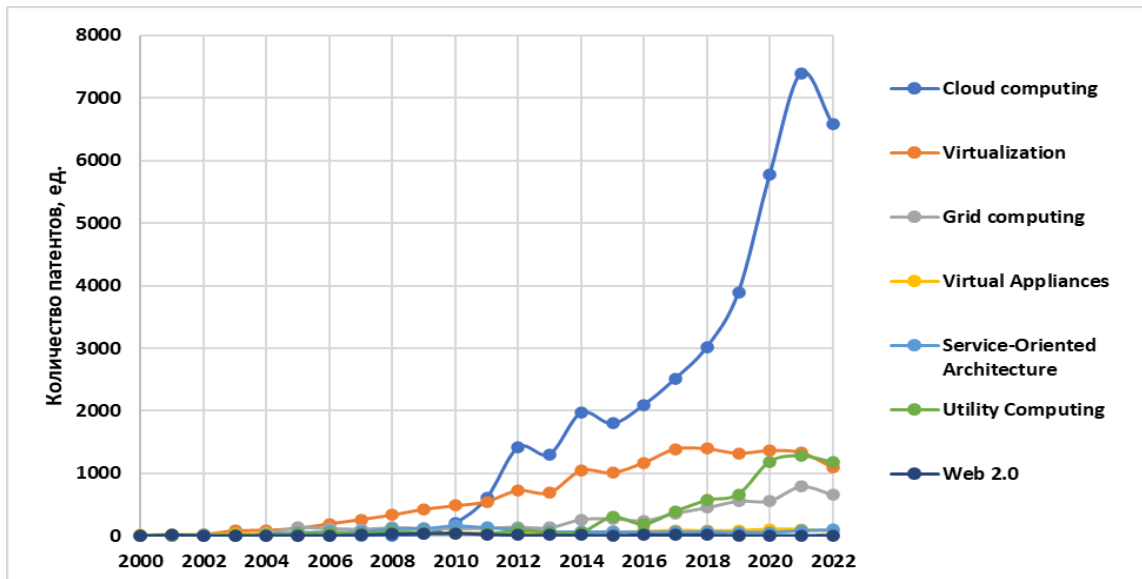


Рисунок 2.6 - Динамика количества полученных за год патентов по облачным вычислениям («cloud computing») и некоторым связанным с ними технологиям (по данным WIPO [104])

Сопоставление суммарных данных по количеству патентов, полученных по областям, связанным с облачными вычислениями (в т.ч. Service-Oriented Architecture), с прогнозом динамики мирового рынка облачных услуг компании Forrester Research, может свидетельствовать о том, что прогноз рынка основан на патентной информации. Оба ряда имеют одинаковый порядок интегрирования, наилучшим образом приближаются полиномами второй степени. Взаимосвязь между оценкой мирового рынка облачных вычислений и накопленным количеством патентов по ним за период 2008-2020 гг. наилучшим образом описывается полиномом второй степени и кривой Гомпертца [103].

Для полинома второй степени получена зависимость

$$Y = -0,047x^2 + 5,55x + 6,115, R^2 = 0,994,$$

$$(-7,0) \quad (18,8) \quad (2,4).$$

где Y – оценка мирового рынка облачных вычислений компании Forrester Research, млрд долл.;

x – накопленное количество патентов, найденных в WIPO по ключевому слову «cloud computing».

Приближение динамики рынка с помощью кривой Гомпертца описывается уравнением: $Y = 172,5e^{-2,7e^{-0,03x}}$, $R^2 = 0,995$ (t-статистики для коэффициентов 31,4; -20,1; -15,2). Оценка мирового рынка облачных услуг компанией Forrester Research и приближения, построенные на основе патентной статистики, представлены на рис.2.7.

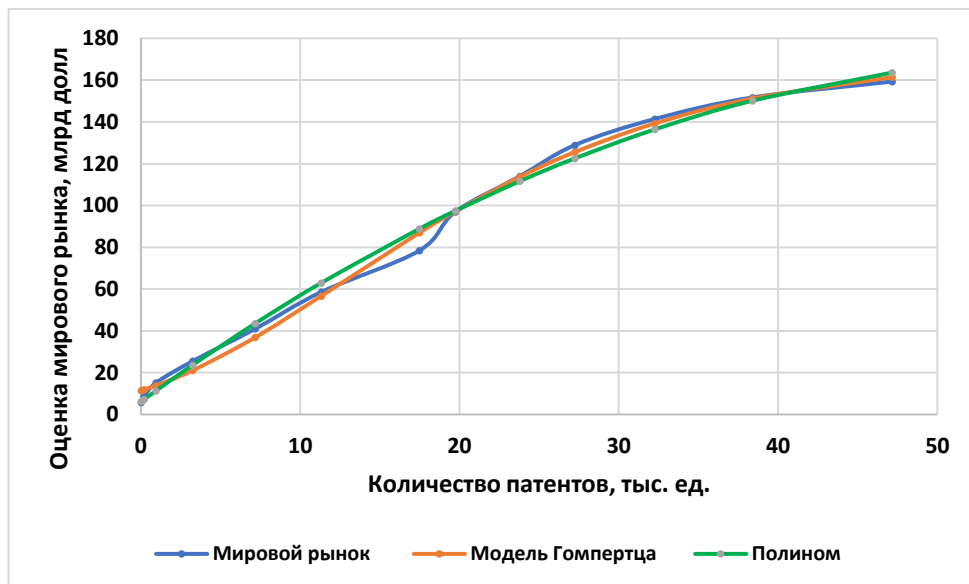


Рисунок 2.7 - Взаимосвязь между оценкой мирового рынка облачных услуг компании Forrester Research и суммарным количеством патентов, найденных по тэгу «cloud computing» (по данным [104] и [105]).

Аналогичное исследование патентования по облачным вычислениям было проведено по данным Японского патентного бюро (JPO). Согласно собранной информации, некоторые из смежных и предшествовавших облачным вычислениям технологий уже достигли стадии зрелости (например, по технологиям Web 2.0,

коммутаторам и распределенным вычислениям пик патентования пришелся на 2002 г., по сетевым вычислениям - на 2006 г.) [103] (рис. 2.8).

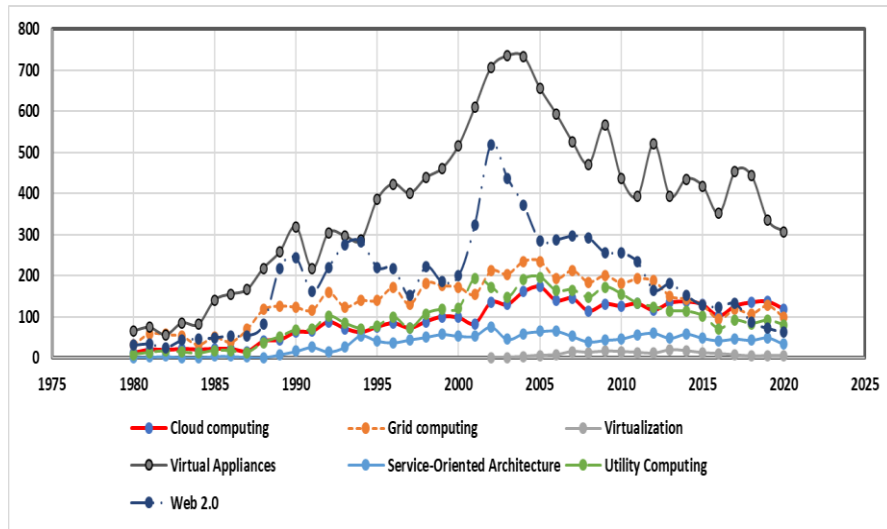


Рисунок 2.8 - Динамика количества полученных за год патентов по облачным вычислениям (cloud computing) и предшествовавшим им технологиям (по данным JPO [106])

Несмотря на снижение патентования по отдельным технологиям, распространение облачных вычислений в стране продолжается. За период 2011-2020 гг. между долей предприятий, использующих облачные сервисы в Японии, и накопленной суммой патентов, зарегистрированных в JPO по облачным вычислениям, отмечается линейная зависимость [103] (рис. 2.9).

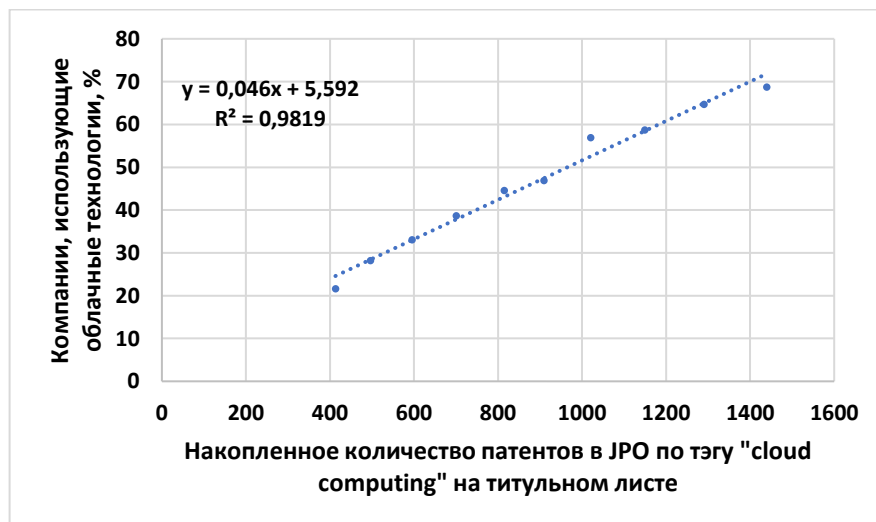


Рисунок 2.9 - Зависимость между долей предприятий, использующих облачные технологии в Японии (%) и накопленной суммой патентов по облачным вычислениям, зарегистрированным в JPO (построено по данным [106, 107])

В предположении, что такая зависимость сохранится в ближайшие 5 лет, доля японских предприятий, использующих облачные сервисы, к 2025 г. может составить более 95%. Расчет произведен на основе экстраполяции накопленной суммы патентов с помощью данных линейной модели:

$$y = -66,19 + 115,11 * (t - 2007), R^2 = 0,99,$$

(-2,2) (35,1)

где y – накопленная сумма патентов, зарегистрированных в JPO по облачным вычислениям, t - год.

Несмотря на то, что некоторыми исследователями ставится под сомнение полезность патентного анализа (они считают, что многие компании подают большое количество бесполезных патентов), метод широко используется в технологическом прогнозировании. Хотя патентный анализ является мощной техникой для прогнозирования будущего технологии, неясно, применим ли этот анализ к технологическому прогнозированию во всех отраслях. Поскольку стратегии фирм по защите своих инноваций варьируются в зависимости от патентов и коммерческой тайны, патентный анализ может быть неприемлем для некоторых отраслей.

2.1.4. Моделирование диффузии ИКТ с учетом их технических характеристик

К основным техническим характеристикам цифровых технологий относятся скорость передачи данных, пропускная способность, величина задержки сигнала и другие показатели. Для пользователей технологии ее привлекательность достигается за счет большего объема передаваемой информации за меньший промежуток времени, меньшей стоимости абонентской платы или платы в расчете на 1 Гб загруженной информации. За период 2010-2021 гг. скорость мобильного интернета в мире выросла более чем в 60 раз (с 0,19 Мб/сек в 2010 г. до 11,4 Мб/сек

в 2021 г. [108]). В 2017-2021 гг. наиболее значительно выросла скорость интернета в Исландии (в 18,2 раза, с 10,15 Мб/с в 2017 г. до 191,9 Мб/с в 2021 г.), Индии (в 10,9 раза, с 2,1 Мб/с до 22,5 Мб/с), Чили (в 8,2 раза, с 1,7 Мб/с до 13,8 Мб/с), при этом в 2021 г. самой высокой была скорость интернета в Исландии, Люксембурге, Нидерландах и Венгрии, где она превышала 100 Мб/с [109].

В то же время большая часть населения планеты для выхода в интернет использовала мобильные устройства и мобильные технологии связи. Мобильная широкополосная связь является заменой ФШДИ, особенно в тех регионах, где проникновение фиксированной широкополосной связи было относительно низким или там, где сети фиксированной широкополосной связи не были полностью модернизированы для обеспечения более высоких скоростей передачи данных (см. табл. 2.8).

Таблица 2.8 - Страны с самым высоким и самым низким отношением скорости мобильного интернета к скорости фиксированного в 2022 г. [110]

Страна	Средняя скорость мобильной связи, Мб/с	Средняя скорость фиксированной связи, Мб/с	Отношение средней мобильной скорости к фиксированной
Эфиопия	23,33	3,67	6,36
Йемен	16,64	2,64	6,30
Куба	9,11	1,91	4,77
Сирия	12,98	2,95	4,40
Мальдивы	48,45	11,21	4,32
Афганистан	5,39	1,63	3,31
...			
Колумбия	13,34	65,41	0,20
Беларусь	10,05	46,19	0,22
Румыния	34,12	135,4	0,25
Бразилия	23,28	90,44	0,26
Испания	36,07	136,08	0,27
Парагвай	15,71	56,07	0,28
Россия	17,84	61,65	0,29

По средней скорости мобильного интернета Россия в октябре 2023 г. занимала в мировом рейтинге 99-е место (24,04 Мб/сек), а по скорости

фиксированного интернета – 59-е (81,95 Мб/сек), т.е. отношение скоростей практически не изменилось по сравнению с 2022 г. – 0,29 [110].

Показатель использования мобильных данных на одну подписку на МШДИ для стран ОЭСР вырос с 1,1 Гб в месяц в 2014 г. до 8,4 Гб в 2021 г., а самые высокие показатели в 2021 г. были получены в Финляндии (35,8 Гб), Латвии (29,7 Гб), Австрии (26,4 Гб), Литве (24,4 Гб на 1 пользователя в месяц) [111].

По панельным данным для 32 стран за период 2010-2017 гг. были построены регрессионные зависимости (сквозные и с фиксированным эффектом [112]) распространения МШДИ (Y) следующего вида:

$$Y = a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + a_3 * x_3, \quad (2.6)$$

где x_1 - скорость передачи данных (Гб/сек),

x_2 – мобильный трафик (Гб в месяц на 1 пользователя),

x_3 - отношение абонентской платы за МШДИ к ВВП на душу населения.

Результаты оценивания представлены в табл. 2.9.

Таблица 2.9 - Оценки параметров модели (2.6)

Параметр	Сквозная регрессия		Регрессия с фиксированным эффектом	
	Оценка	t-статистика	Оценка	t-статистика
a_0	0,632	11,811	0,803	12,777
a_1	9,026	4,415	6,742	5,631
a_2	0,054	3,749	0,041	4,030
a_3	-0,108	-3,665	-0,204	-4,350
R^2	0,566		0,968	
SSR	2,718		0,200	

Полученные оценки параметров двух видов моделей свидетельствуют о положительном влиянии скорости передачи данных и мобильного трафика и отрицательном влиянии стоимости мобильного интернета в ВВП на душу населения на долю пользователей мобильного широкополосного подключения к интернету в общей численности населения стран.

По панельным данным для федеральных округов Российской Федерации были построены регрессионные модели зависимости доли активных пользователей мобильного широкополосного доступа в интернет в общей численности населения

(Y) (период 2015-2020 гг. [14]) от средней скорости мобильного интернета (X_1 , Мбит/сек), абонентской платы за 1 Мбит/сек скорости (X_2 , тыс. руб./Мбит/с), доли абонентской платы в среднедушевых денежных доходах населения (X_3), абонентской платы за доступ к сети Интернет (X_4 , тыс. руб./месяц).

Получены следующие модели (все р-значения < 0,05):

$$Y = 0,02 * X_1 + 0,031 * t - 62,4, R^2 = 0,93,$$

$$Y = -0,298 * X_4 + 0,07 * t - 136,2, R^2 = 0,91,$$

$$Y = -10,7 * X_3 + 0,06 * t - 124,8, R^2 = 0,92,$$

$$Y = -6,3 * X_2 + 0,06 * t - 121,1, R^2 = 0,91.$$

Для всех зависимостей получено увеличение доли активных пользователей мобильного широкополосного доступа в интернет со временем, а также положительная корреляция со скоростью передачи данных, и отрицательная – со стоимостью доступа и долей стоимости доступа в интернет в среднедушевых денежных доходах населения округа, а также со стоимостью 1 Мбит/сек скорости.

2.2. Моделирование диффузии конкурирующих технологий

2.2.1. Сопоставление технических характеристик конкурирующих технологий

2.2.1.1. Проводные и беспроводные технологии

ШДИ определяется как технология, которая обеспечивает высокоскоростную передачу данных (по определению ИТУ¹⁶, от 256 кб/с и выше). В настоящее время в ряде стран средняя скорость скачивания информации в интернете превышает 100 мб/с. ШДИ реализуется с помощью целого ряда технологий, которые можно разделить на две группы: проводные и беспроводные технологии, или технологии фиксированного и мобильного подключения к интернету. Технологии проводной связи считаются самыми стабильными из всех видов связи. В отличие от беспроводных технологий они относительно невосприимчивы к неблагоприятным погодным условиям, обеспечивают большую

¹⁶ Manual for Measuring ICT Access and Use by Households and Individuals. – ITU, 2014 Edition.

скорость передачи данных, во многих случаях превосходя беспроводные технологии.

Основными технологиями фиксированного (проводного) подключения к интернету являются технологии DSL (Digital Subscriber Line, цифровая абонентская линия - модемная технология, которая использует существующие телефонные линии для передачи данных с высокой пропускной способностью [113]), кабельного модема (Cable, использует коаксиальные кабели и внешние устройства – модемы) и оптоволоконная технология (Fibre, преобразует электрические сигналы в свет и передает их через стеклянные волокна). Из всех технологий Fibre обеспечивает наибольшую скорость ФШДИ. В табл. 2.10 представлены 5 стран с наибольшей долей подключения по технологии Fibre. Для них отмечается и самая большая доля пользователей с высокоскоростным ФШДИ.

Таблица 2.10 – Сопоставление доли технологии Fibre в ФШДИ и доли высокоскоростного подключения к интернету в 2022 г. [111]

Показатель	Южная Корея	Япония	Испания	Исландия	Швеция
Доля пользователей технологии Fibre в ФШДИ, %	88,04	84,77	83,09	82,01	81,22
Доля пользователей, имеющих скорость ФШДИ 100 и более Мб/с, %	38,84	33,36	32,84	17,99	35,14

Технологии беспроводной связи определяют методы передачи данных и голосовых сообщений без прямого физического соединения между двумя или более устройствами¹⁷. Они играют ключевую роль в современных системах связи в качестве одного из важных средств передачи данных на другие устройства (например, на беспилотные транспортные средства, дроны, медицинские устройства, промышленные роботы и т.д.) [94].

Важным показателем преимущества технологии доступа в интернет является большая скорость передачи данных. За последние двадцать лет скорость

¹⁷ Технологии беспроводной связи. URL: <https://issek.hse.ru/analysis/wireless> (дата обращения: 14.01.2024).

подключения к Интернету неуклонно увеличивалась. Растущая популярность требовательных к полосе пропускания услуг, таких как видеоконференцсвязь и электронное здравоохранение, будет продолжать повышать требования к скорости передачи данных для домашних хозяйств и индивидуальных пользователей Интернета.

2.2.1.2. Фиксированное и мобильное подключения к интернету

Большую роль в распространении технологий ШДИ играет скорость загрузки и выгрузки данных, которая меняется в зависимости от степени развития технологий. По данным ОЭСР, в 2022 г. в Южной Корее 90% ШДИ обеспечивало скорость от 100 Мб/с и выше [92]. В Испании этот показатель составил 92,4%, в Швеции – 92,1%, в Японии – 91,5%¹⁸. При этом в ряде стран обеспечивалась скорость подключения более 1000 Мб/с (например, во Франции такой скоростью было обеспечено 18,1% пользователей интернета).

На начало 2023 г. среднемировые показатели МШДИ и ФШДИ показаны в табл. 2.11. Средняя скорость загрузки мобильного интернета почти в 2 раза ниже, чем скорость фиксированного, а скорость выгрузки – почти в три раза. Задержка сигнала мобильного интернета тоже существенно выше, чем фиксированного (более, чем в 3 раза).

Таблица 2.11 - Среднемировые показатели технологий МШДИ и ФШДИ на начало 2023 г. (данные [112])

Технологии доступа в интернет	Скорость загрузки, Мб/с	Скорость выгрузки, Мб/с	Задержка сигнала, мс
МШДИ	39,77	10,18	28
ФШДИ	78,62	34,39	9

¹⁸ OECD Broadband Portal. URL: <https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/> (дата обращения: 14.01.2024).

Средняя скорость МШДИ во многих странах пока ниже, чем у ФШДИ, однако динамика отношения скоростей по двум конкурирующим технологиям (табл. 2.12) свидетельствует о том, что они сближаются по этому показателю, а в ряде стран скорость МШДИ уже выше, чем ФШДИ (Австралия, Австрия, Чехия, Греция).

Таблица 2.12 - Сопоставление скорости и ежемесячной абонентской платы по технологиям фиксированного и мобильного подключения к интернету [92]

Страны	Отношение максимальной скорости скачивания по ФШДИ к максимальной МШДИ			Отношение самого дешевого тарифного плана только за передачу данных по МШДИ к самому дешевому тарифу ФШДИ			
	2008	2014	2019	2013	2016	2020	2022
Австралия	9,1	1,18	0,60	0,45	0,20	0,67	0,19
Австрия	7,8	1,71	0,92	0,22	0,24	0,34	0,32
Бельгия	8,3	1,24	1,49	0,80	0,73	0,55	0,60
Канада	7,6	4,78	1,69	0,96	0,69	0,60	0,81
Чехия	6,2	1,07	0,98	0,87	0,57	0,32	0,49
Франция	30,3	2,33	2,44	0,61	0,48	0,41	0,14
Германия	15,2	1,33	2,18	0,60	0,29	0,42	0,29
Греция	7,5	0,51	0,53	0,85	0,85	0,32	0,32
Исландия	6,7	2,05	2,61	0,28	0,29	0,30	0,25
Италия	6,1	1,02	1,57	0,40	0,25	0,29	0,40
Южная Корея	30,3	1,33	2,61	0,88	0,28	0,36	0,48
Нидерланды	15,2	6,83	1,48	0,76	0,57	0,47	0,44
Новая Зеландия	15,6	2,05	1,97	0,67	0,37	0,29	0,33
Норвегия	25	12,8	1,56	0,32	0,39	0,64	0,33
Португалия	9,3	2,73	2,47	0,73	0,41	0,60	0,50
Испания	15,2	0,68	3,13	1,01	0,54	0,18	0,19
Великобритания	7,3	2,59	1,88	1,30	2,02	0,28	0,30
США	15,2	12,19	3,44	0,99	0,43	0,40	0,80

Рассчитано по данным: [113], [114], [115], [116].

В то же время в ряде стран на начальном этапе ежемесячная стоимость МШДИ превышала соответствующий показатель ФШДИ (Испания, Великобритания). При этом пользователи с высоким спросом ФШДИ в этот период

имели возможность использовать до 200 Гб трафика в месяц со скоростью 25 Мб/с, а такие же пользователи МШДИ – до 2 Гб и произвести до 900 звонков [111].

В России стоимость МШДИ была выше абонентской платы ФШДИ, но в последние годы показатели почти сравнялись (в 2022 г. отношение составило 0,98) [116].

В то же время стоимость установки беспроводной технологии часто ниже, чем стоимость услуг фиксированной телефонной связи, особенно в отдаленных сельских районах или районах со сложной местностью. Аппаратное обеспечение, необходимое пользователям, особенно мобильные телефоны, также дешевле и доступнее, чем персональные компьютеры. ПО мобильной связи часто предлагает большое разнообразие возможностей и более гибкие пакеты, а большинство приложений на мобильных телефонах проще и удобнее для пользователя. Более того, требования мобильных технологий к некоторым другим ключевым факторам, которые, как известно, влияют на темпы внедрения информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), также ниже [117].

Таким образом, к технологическим факторам, определяющим диффузию конкурирующих технологий ШДИ, можно отнести соотношения цен на их установку, тарифных планов и скоростей передачи данных.

2.2.2 Методология анализа диффузии конкурирующих технологий

В данном разделе исследования осуществляется моделирование распространения технологий ШДИ, а также анализ и оценка факторов, влияющих на диффузию этих технологий, на основании двух типов моделей, описывающих процессы диффузии с разных точек зрения. Первый тип – это базовые модели диффузии (Гомпертца и Басса), а также их модификации, которые предназначены для оценки тенденций распространения ШДИ с позиций рынка. Второй тип модели является эконометрической моделью, позволяющей проверить гипотезы о факторах, потенциально влияющих на принятие и распространение технологий ШДИ, а также получить количественную оценку этого влияния [96].

Этап 1. Моделирование распространения технологий без учета взаимного влияния

Моделирование распространения ФШДИ и МШДИ было проведено на основе данных ОЭСР по 34 странам за период 2000-2017 гг. [111], расчеты проводились с помощью пакета Statistica с помощью базовых моделей Басса, Гомпертца и логистической модели. Наилучшее приближение по сумме квадратов остатков между фактическими и расчетными данными было получено с помощью модели Гомпертца, представленной в виде [117]:

$$F_i(t) = L_i e^{-b_i e^{-k_i(t-t_0)}}, \quad (2.7)$$

где $F_i(t)$ – число принявших технологию i в момент времени t в расчете на 100 человек жителей страны ($i=1$ для ФШДИ, $i=2$ – для МШДИ),

L_i, b_i, k_i – параметры модели, соответствующие технологии i :

L_i – верхний предел кривой, b_i характеризует смещение по оси X ,

k_i определяет темп роста,

$t_0=1997$ для ФШДИ и $t_0=2008$ – для МШДИ.

Для кривой Гомпертца точка перегиба достигается в период времени $t^*_i = \ln(b_i)/k_i$, $i=1, 2$.

В табл. 2.13 представлены полученные оценки параметров модели (2.7) распространения технологий ФШДИ и МШДИ для разных стран без учета взаимного влияния технологий друг на друга. Для каждой страны получены оценки $t_2^* < t_1^*$ [96].

Таблица 2.13 - Оценки параметров модели (2.7) распространения технологий ФШДИ и МШДИ

Страны		ФШДИ					МШДИ				
		L_1	b_1	k_1	R_1^2	t_1^*	L_2	b_2	k_2	R_2^2	t_2^*
Великобритания	параметр	36,3	3,9	0,53	0,97	7,4	92,03	0,82	0,51	0,99	1,6
	t-стат.	23,4	4,2	4,3			28,9	7,7	8,5		

Таблица 2.13 - Продолжение

Франция	параметр	42,1	2,4	0,3	0,99	8	86,5	0,78	0,36	0,99	2,2
	t-стат.	83,1	27,2	25,8			14,7	7,8	6,3		
Германия	параметр	39,4	2,7	0,33	0,99	8,2	83,2	1,3	0,45	0,99	2,9
	t-стат.	64,8	19,5	18,9			20	9,1	7,7		
Испания	параметр	30,8	2,1	0,26	0,99	8,1	95,3	0,79	0,41	0,98	1,9
	t-стат.	40,9	15,8	14,3			12,2	4,9	4,5		
США	параметр	33,3	1,8	0,27	0,99	6,7	129,4	0,73	0,44	0,99	1,7
	t-стат.	68,4	21,6	20,7			19,0	6,3	6,4		
Южная Корея	параметр	40,5	0,79	0,22	0,98	3,6	104,7	1,46	3,1	0,99	0,5
	t-стат.	30,4	5,8	7,4			92,3	2,8	5,5		
Япония	параметр	29,8	1,98	0,33	0,99	6	168,2	0,65	0,33	0,98	2
	t-стат.	63,8	15,3	15,7			8,8	4,9	4,0		
Швеция	параметр	35,2	2,19	0,38	0,98	5,6	115,8	0,77	1,06	0,99	0,7
	t-стат.	37,9	7,7	8,1			38,6	3,9	5,9		
Финляндия	параметр	31,4	3,7	0,59	0,99	6,3	152,8	1,44	0,52	0,99	2,8
	t-стат.	74,5	11,4	12,0			68,8	24,6	22,8		
Нидерланды	параметр	41,3	2,64	0,42	0,99	6,3	84,2	1,3	0,62	0,99	2,1
	t-стат.	122	24,6	25,5			20,5	5,0	5,3		
Канада	параметр	37,8	1,44	0,25	0,99	5,8	68,4	1,23	0,55	0,99	2,2
	t-стат.	84,6	25	24,6			20,2	6,0	6,0		
Российская Федерация	параметр	21,5	3,5	0,3	0,99	11,7	92,4	0,18	0,19	0,99	2,1
	t-стат.	38,3	21,6	18,7			4,3	2,6	1,95		

В результате оценки параметров выявлено, что в период 2002-2017 гг. наибольший потенциал распространения МШДИ отмечался у Японии ($L_2=168,2$), Финляндии ($L_2=152,8$) и США ($L_2=129,4$), а ФШДИ имел наиболее высокий потенциал распространения в Китае ($L_1=93,0$), во Франции ($L_1=42,1$), Нидерландах ($L_1=41,3$) и Южной Корее ($L_1=40,5$). Самая высокая скорость распространения ФШДИ получена для Финляндии ($k_1=0,59$), самая низкая – для Китая ($k_1=0,08$). Самая высокая оценка скорости распространения МШДИ получена для Южной Кореи ($k_2=3,1$) и Швеции ($k_2=3,1$), самая низкая – для России ($k_2=0,19$). Для всех рассмотренных стран верхние границы распространения МШДИ более чем в два раза превышали верхний предел распространения технологии ФШДИ (кроме

Канады). Самое большое время достижения пика технологий ФШДИ было получено для России ($t_1^*=11,7$) и Китая ($t_1^*=23,9$), МШДИ – для Германии ($t_2^*=2,9$) и Финляндии ($t_2^*=2,8$) [96].

Для РФ уровень распространения ФШДИ ($L_1=21,5$) является самым низким среди рассмотренных стран, в то же время потенциал распространения МШДИ ($L_2=92,4$) выше значений, полученных для Великобритании ($L_2=92,03$), Германии ($L_2=83,2$) и Франции ($L_2=86,5$) [96]. Расчеты показали, что верхняя граница распространения технологии МШДИ для ряда стран превышает уровень 100%, время достижения точки перегиба для стран ОЭСР не превышало 5 лет, и этот показатель в несколько раз меньше, чем время достижения пика ФШДИ.

Этап 2. Моделирование с переменным потенциалом рынка

Далее была рассмотрена модель Гомпертца с учетом зависимости потенциала рынка ($M(t)$) технологии ФШДИ от технических и социально-экономических факторов [94]:

$$\frac{dFix_i(t)}{dt} = k * Fix_i(t) * \ln \left(\frac{\alpha * M(t)}{Fix_i(t)} \right),$$

$$M(t) = Pr^{a_1}(t) * Speed^{a_2}(t) * GNI^{a_3}(t), \quad (2.8)$$

где $Fix_i(t)$ – число пользователей ФШДИ на 100 человек населения в стране i в момент времени t ,

$Pr_i(t)$ – средняя месячная стоимость ФШДИ по ППС, $Speed_i(t)$ – средняя скорость скачивания информации из интернета по технологиям ФШДИ,

$GNI_i(t)$ – валовой национальный доход на душу населения в млн. долл. в текущих ценах, α и k – параметры кривой.

Оценка параметров уравнения осуществлялась по разностной форме уравнения (2.8), где предполагалось, что:

$$\frac{dy(t)}{dt} \approx y(t) - y(t-1),$$

$y(t)=Fix(t)$. Перегруппировав слагаемые, получаем уравнение вида:

$$Fix(t) = \alpha * Pr(t)^{a_1} * Speed(t)^{a_2} * GNI(t)^{a_3} \exp \left(\frac{1}{k} \frac{Fix(t-1)}{Fix(t)} - \frac{1}{k} \right) \quad (2.9)$$

Полученные оценки параметров модели для всех стран ОЭСР и групп стран, объединенных по региональным признакам, представлены в табл. 2.14.

Таблица 2.14 - Результаты оценки параметров модели (2.9) за 2002-2014 гг.

Страны		a_1	a_2	a_3	α	k	R^2	F
Все страны ОЭСР	параметр	-0,18	0,07	1,45	2,01	0,56	0,91	98,9
	t-стат.	-6,26	2,68	7,31	8,65	11,56		
Европейские страны	параметр	-0,22	0,12	0,74	0,97	0,52	0,91	96,8
	t-стат.	-5,2	4,06	3,1	3,69	10,9		
США, Канада	параметр	-0,23	0,04	2,25	0,13	0,77	0,95	75,2
	t-стат.	-3,06	0,6	3,74	2,41	2,51		
Япония, Корея	параметр	0,08	0,14	0,34	0,48	0,98	0,98	199,5
	t-стат.	2,41	2,63	1,46	3,17	3,13		

В результате исследования выявлена значимая отрицательная эластичность количества пользователей ФШДИ по стоимости абонентской платы (кроме Японии и Южной Кореи), положительная эластичность по скорости скачивания из интернета и по валовому национальному доходу на душу населения [94].

Наиболее высокая отрицательная эластичность ежемесячной абонентской платы получена для США и Канады (-0,23); скорость загрузки оказывает наибольший эффект на рост количества пользователей ФШДИ в азиатских и европейских странах (эластичность 0,14 и 0,12 соответственно), а влияние роста доходов на душу населения наиболее значительно в североамериканских (2,25).

Такой способ оценивания позволяет проследить динамику изменения рыночного потенциала технологии в зависимости от изменения социально-экономических показателей [94].

Этап 3. Моделирование с учетом конкуренции технологий

Моделирование конкурирующих технологий было проведено на примере технологий ФШДИ и МШДИ на основе модели Нортон-Басса [76] следующего вида:

$$\begin{cases} \frac{dF_1}{dt} = \left(p_1 + q_{11} \frac{F_1}{M_1} + q_{12} \frac{F_2}{M_1} \right) (M_1 - F_1) \\ \frac{dF_2}{dt} = \left(p_2 + q_{21} \frac{F_1}{M_2} + q_{22} \frac{F_2}{M_2} \right) (M_2 - F_2) \end{cases} \quad (2.10)$$

где $F_1(t)$ – общее число пользователей ФШДИ в момент времени t на 100 человек населения,

$F_2(t)$ – МШДИ,

p_1 и p_2 – коэффициенты инновации для ФШДИ и МШДИ соответственно,

q_1, q_2, q_{12} и q_{21} – коэффициенты имитации для ФШДИ, МШДИ и взаимного влияния одной технологии на другую,

M_1 и M_2 – размер рынка для каждой технологии.

Для исследования взаимного влияния ФШДИ и МШДИ были оценены параметры распространения технологий без учета конкуренции между ними, а затем оценена система уравнений (2.10). Полученные оценки параметров процесса диффузии представлены в табл. 2.15.

Таблица 2.15 - Параметры обобщенной модели Нортон-Басса (2.10) по выборке из 37 стран ОЭСР за период 2000-2020 гг

Параметры модели		ФШДИ		МШДИ	
		Без учета взаимного влияния	С учетом взаимного влияния	Без учета взаимного влияния	С учетом взаимного влияния
p ₁	параметр	0,048	0,04	нет	нет
	t-статистика	11,1	9,8		
q ₁	параметр	0,152	0,283	нет	нет
	t-статистика	7,4	11,3		
q ₁₂	параметр	нет	-0,345	нет	нет
	t-статистика		-10,0		

Таблица 2.15 - Продолжение

M ₁	параметр	39,37	38,39	нет	нет
	t-статистика	40,6	44,9		
P ₂	параметр	нет	нет	0,009	0,025
	t-статистика			3,7	1,8
Q ₂	параметр	нет	нет	0,247	0,107
	t-статистика			9,1	2,3
Q ₂₁	параметр	нет	0,247	нет	0,037
	t-статистика				1,7
M ₂	параметр	нет	нет	137,8	151,1
	t-статистика			24,3	9,6
SSE		1880	1534	21266	18748

Полученные оценки параметров свидетельствуют о наличии взаимного влияния технологий друг на друга, причем для ФШДИ учет взаимодействия с технологией МШДИ снизил рыночный потенциал технологии, а для МШДИ – повысил [94].

Своей наивысшей точки развития технология достигает в момент t^* , который определяется по формуле: $t^* = \frac{\ln(\frac{q}{p})}{p+q}$. Полученные результаты свидетельствуют о значимом влиянии технологии МШДИ на технологию ФШДИ (коэффициент q_{12} отрицателен и имеет t-статистику -10,0). В то же время коэффициент q_{21} положителен и незначим, что свидетельствует об отсутствии существенного влияния технологий ФШДИ на распространение технологий МШДИ.

Учет технологии МШДИ снизил потенциальный верхний предел диффузии ФШДИ (39,4 пользователя на 100 человек населения без учета МШДИ и 38,4 – с учетом), а для МШДИ – повысил (со 137,8 до 151,1 соответственно).

Время достижения пика распространения ФШДИ с учетом МШДИ повысилось (с 5,8 лет до 6,1 года), а МШДИ - снизилось (с 12,9 лет до 11 лет) [96].

Оценка общего рынка технологий ШДИ является достаточно сложной проблемой в связи с тем, что на одного пользователя интернета может приходиться более одного подключения. Если для ФШДИ диффузия технологии ограничена числом пользователей интернета или числом домашних хозяйств, имеющих ШДИ, то для МШДИ, который в большей степени используют владельцы мобильных телефонов, смартфонов и планшетов, диффузия технологии еще не достигла стадии насыщения в ряде стран [94].

Этап 4. Эконометрическая модель

Анализ диффузии технологий ШДИ по 34 странам ОЭСР был проведен также с помощью системы уравнений, учитывающих социо-экономические факторы диффузии технологий [94]:

$$\begin{cases} F_1(t) = c_1 + c_2x_1(t) + c_3x_2(t) + c_4x_3(t) + c_5F_2(t) \\ F_2(t) = c_6 + c_7x_4(t) + c_8x_3(t) + c_9x_5(t) \end{cases} \quad (2.11)$$

где $F_1(t)$ – число пользователей ФШДИ в расчете на 1 жителя страны;

$F_2(t)$ – число пользователей МШДИ в расчете на 1 жителя страны;

$x_1(t)$ – отношение стоимости ФШДИ к ВВП на душу населения страны;

$x_2(t)$ – логарифм средней скорости скачивания данных из интернета по технологии ФШДИ в стране;

$x_3(t)$ – логарифм ВВП на душу населения в постоянных ценах 2017 г.;

$x_4(t)$ – логарифм доли городских жителей в общей численности населения страны;

$x_5(t)$ – логарифм количества мобильных данных (Гб), используемых 1 пользователем в месяц.

Оценки параметров системы уравнений (2.11) за период 2008-2020 гг. представлены в табл. 2.16. Между количеством пользователей ФШДИ и долей абонентской платы за него в ВВП на душу населения по ППС получена отрицательная корреляция. Кроме того, рост количества пользователей МШДИ ведет к сокращению количества пользователей ФШДИ. Так как в большинстве стран ОЭСР скорость загрузки ФШДИ выше скорости МШДИ, то этот показатель оказывает положительное влияние на распространение ФШДИ.

Таблица 2.16 - Оценки параметров системы уравнений (2.11) для 34 стран ОЭСР

Параметры модели	Оценка параметра	t-статистика
c ₁	-0,079	-2,71
c ₂	-0,020	-2,65
c ₃	0,050	10,97
c ₄	0,077	11,92
c ₅	-0,043	-3,32
c ₆	-1,849	-4,34
c ₇	0,528	5,09
c ₈	0,084	3,21
c ₉	0,197	10,91
Остаточная ковариация	0,00007	

Кроме того, анализ подтвердил положительную зависимость распространения технологий ФШДИ от среднедушевых доходов населения, а увеличение доли городских жителей в общей численности населения страны и количества передаваемых данных ведет к росту числа пользователей МШДИ.

2.2.3. Применение разработанной методологии

2.2.3.1 Технологии ФШДИ

Если технологии ФШДИ и МШДИ в общем случае ориентированы на разные категории пользователей и могут существовать параллельно, то цифровая абонентская линия (digital subscriber line, DSL), кабельная (Cable) и оптоволоконная (Fibre) технологии ФШДИ в интернет во многих случаях взаимно исключают друг друга.

Распространение этих технологий было оценено на примере 19 стран ОЭСР за период 2000-2016 гг. Сначала для этих стран был оценен рыночный потенциал технологии ФШДИ в общем (F) с помощью модели Басса:

$$\frac{dF}{dt} = \left(p + \frac{q}{M} F \right) (M - F)$$

С помощью пакета Statistica получены следующие значения параметров модели для F (в скобках указаны t -статистики): $p=0,045$ (10,0), $q=0,19$ (9,1), $M=38,8$ (40,4), $R^2=0,44$, $SSE=892,6$.

Для каждой из технологий (DSL, Cable и Fibre) оценены их параметры модели Басса (1.5) в предположении о независимости распространения технологий друг от друга (табл. 2.17).

Таблица 2.17 - Оценка параметров модели Басса для различных технологий
ФШДИ

Параметры	DSL		Cable		Fibre	
	Значение	t-стат.	Значение	t-стат	Значение	t-стат
p	0,051	6,73	0,010	5,21	0,010	3,39
q	0,016	0,43	0,035	1,02	0,241	6,51
M	30,5	5,92	45,3	1,01	30,5	9,47
R^2	0,24		0,09		0,55	
SSE	939,2		146,0		109,7	

Полученные результаты свидетельствуют о большем рыночном потенциале технологии Cable по сравнению с двумя другими технологиями, при этом наибольший коэффициент инновации p получен для DSL, а имитации q – для Fibre. Коэффициент инновации в большей степени отражает диффузию технологии за счет собственных средств и возможностей (научно-исследовательских, инженерных, финансовых). Коэффициент имитации отражает прирост количества пользователей технологий за счет внешних воздействий (прирост ПИИ, создание филиалов ведущих телекоммуникационных компаний в других странах и др.).

В предположении о сохранении рыночного потенциала трех технологий, оценки которых были получены на первом этапе, была оценена модель Нортон-Басса вида:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dt} = \left(p_1 + \frac{q_{11}}{M_1} + \frac{q_{12}}{M_1} + \frac{q_{13}}{M_1} \right) (M_1 - Y_1) \\ \frac{dY_2}{dt} = \left(p_2 + \frac{q_{21}}{M_2} + \frac{q_{22}}{M_2} + \frac{q_{23}}{M_2} \right) (M_2 - Y_2), \\ \frac{dY_3}{dt} = \left(p_3 + \frac{q_{31}}{M_3} + \frac{q_{32}}{M_3} + \frac{q_{33}}{M_3} \right) (M_3 - Y_3) \end{cases} \quad (2.12)$$

где Y_1 – количество пользователей технологии DSL на 100 человек жителей страны, Y_2 – количество пользователей технологии Cable на 100 человек жителей, Y_3 – количество пользователей технологии Fibre на 100 человек жителей, M_1, M_2, M_3 – потенциальная доля рынка технологий DSL, Cable и Fibre фиксированного широкополосного подключения к интернету ($M_1=M_3=30,5$, $M_2=45,3$). Оценки параметров модели представлены в табл. 2.18.

Таблица 2.18 – Оценка параметров модели (2.12)

DSL			Cable			Fibre		
Параметр	Значение	t-стат.	Параметр	Значение	t-стат.	Параметр	Значение	t-стат.
p_1	0,073	9,8	p_2	0,013	6,8	p_3	0,0005	0,2
q_{11}	0,081	2,7	q_{21}	-0,016	-2,8	q_{31}	0,011	2,2
q_{12}	-0,189	-5,0	q_{22}	0,067	5,5	q_{32}	-0,002	-0,3
q_{13}	-0,144	-5,2	q_{23}	-0,062	-5,5	q_{33}	0,269	14,8
M_1	30,5		M_2	45,3		M_3	30,5	
R^2_1	0,52		R^2_2	0,36		R^2_3	0,65	
SSE_1	648,4		SSE_2	123,9		SSE_3	114,7	

Для каждой технологии получены значимые положительные коэффициенты имитации собственной технологии (q_{11}, q_{22}, q_{33}), коэффициенты имитации других технологий для цифровой и кабельной технологии имеют значимые отрицательные значения ($q_{12}, q_{13}, q_{21}, q_{23}$), что свидетельствует о наличии конкуренции между ними. В то же время для оптоволоконной технологии конкуренция с другими технологиями не является значимой.

2.2.3.2. Моделирование диффузии поколений технологий мобильной связи

С момента своего появления система мобильной связи прошла несколько этапов развития, совершенствуя свои стандарты для повышения скорости и объема передаваемых данных. В настоящее время выделяют пять поколений технологий

мобильной связи (G), характеризующихся различными функциональными возможностями работы сети (скоростью, частотой, емкостью данных, задержкой сигнала), способами передачи информации, набором услуг, предоставляемых абоненту [117] (табл. 2.19).

Таблица 2.19 - Основные показатели поколений технологий мобильной связи (по данным [118, 119,120,121])

Показатель	1G	2G	3G	4G	5G
Год внедрения	1984	1991	2001	2009	2019
Средняя скорость загрузки, Мб/сек	0,0024	0,064	2	300	1024
Средняя задержка, мс	...	500	150	50	1
Поддержка мобильности, км/ч	300	400	500
Ширина полосы, Мб/с	0,002	0,064	2	200	>1000
Трафик, ЕБ/мес.	0	0,78	2,35	8,05	50
Спектральная эффективность бс/Гц	...	0,17	0,75	1,5	>3
Средняя выручка на 1 подписчика (2012 г., долл./мес.)	8	6	25	64	50*

* оценка на 2021 г. [122]

В Японии, Макао, Сингапуре и Южной Корее уже прекращена поддержка сетей 2G, в то время как в европейских странах широкое развертывание сервисов межмашинного взаимодействия (machine-to-machine, M2M) и интернета вещей (IoT), основанных на технологии 2G, может привести к более быстрому отключению сетей 3G по сравнению с 2G [123]. В России в настоящее время около 15% мобильных устройств поддерживают только сети 2G (кнопочные телефоны, детские часы, различные M2M-датчики, спутниковые трекеры и т.д.), кроме того, большое количество систем аварийной сигнализации основаны на GSM-модемах [124].

Развитие таких технологий, как облачные вычисления, облачные хранилища, «поточные» сервисы для фильмов, музыки или игр привело к тому, что объем

общего интернет-трафика увеличился с 20,5 Эксабайт/месяц (ЭБ/м) в 2010 г. до 331,6 ЭБ/м в 2022 г. (рост более чем в 16 раз) [125].

Исследование взаимного влияния поколений 2G-4G технологий мобильной связи проведено за период 2003-2019 гг. по данным WorldBank, ОЭСР, Росстата и Евросоюза по странам ОЭСР и России. Базовая модель конкурирующих технологий Нортон-Басса [76] была модифицирована с помощью учета влияния сопутствующих технологий и описывалась системой дифференциальных уравнений вида [117]:

$$\begin{cases} \frac{dg_2(t)}{dt} = \left(p_1 + \frac{q_{11}}{M_1} g_2(t) + \frac{q_{21}}{M_1} (mph(t) - g_2(t)) \right) (M_1 - g_2(t)) + a_1 \Delta int(t) \\ \frac{dg_3(t)}{dt} = \left(p_2 + \frac{q_{21}}{M_2} g_3(t) + \frac{q_{22}}{M_2} (mph(t) - g_3(t)) \right) (M_2 - g_3(t)) + a_2 \Delta mbbb(t) \\ \frac{dg_4(t)}{dt} = \left(p_3 + \frac{q_{31}}{M_3} g_4(t) + \frac{q_{32}}{M_3} (mph(t) - g_4(t)) \right) (M_3 - g_4(t)) + a_3 \Delta mbbb(t), \end{cases} \quad (2.13)$$

где $g_i(t)$ – доля пользователей технологии поколения i в году t в общей численности населения ($i=2,3,4$),

$mph(t)$ – доля пользователей мобильных телефонов в общей численности населения в год t ,

$\Delta int(t)$ – прирост доли пользователей интернета в общей численности населения в году t по сравнению с годом $t-1$,

$\Delta mbbb(t)$ – прирост доли пользователей мобильного широкополосного доступа в интернет в общей численности населения в году t по сравнению с годом $t-1$,

p_i, q_{ij}, M_i, a_i – параметры модели для поколения i .

Оценка параметров системы уравнений (2.13) была осуществлена с помощью приближения дифференциальных уравнений разностными, результаты оценивания представлены в табл. 2.20. Для расчета параметров модели был использован пакет Statistica, в котором оценка осуществлялась с помощью алгоритма Левенберга-Марквардта [117]. В результате выявлено значимое отрицательное влияние новых поколений технологий мобильной связи на предшествующие, т.е. вытеснение их с рынка. При этом отмечается рост рыночного потенциала M_i каждого поколения технологий мобильной связи [117].

Таблица 2.20 - Оценка параметров системы уравнений (2.13)

Параметры	2G		3G		4G	
	значение	t-stat	значение	t-stat	значение	t-stat
p_i	0,27	3,8	0,56	4,0	0,001	нет
q_{i1}	0,36	4,8	-0,16	-3,0	0,035	0,6
q_{i2}	-0,07	-7,9	-0,15	-4,9	0,037	2,1
M_i	0,19	3,8	0,36	3,9	0,93	2,5
a_i	0,14	2,2	0,57	9,3	0,48	4,3
R^2	0,51		0,58		0,42	
SSE	4,15		2,04		0,33	

Кроме того, выявлено положительное влияние сопутствующих технологий: распространения интернета на сети 2G (за счет распространения интернета вещей и технологий межмашинного взаимодействия, которые используют сети 2G, систем аварийной сигнализации на GSM-модемах, терминалов и кассового оборудования) и прироста пользователей МШДИ на сети 3G и 4G. Наибольший коэффициент инновации (p_i), отражающий привлекательность технологии для новаторов, получен для поколения 3G (0,56), что связано с переходом на мобильную передачу данных помимо передачи голоса. Наибольший коэффициент имитации (q_i), характеризующий скорость распространения технологии среди остальных потребителей, получен для технологии 2G (0,36).

Другой способ оценки взаимного влияния поколений технологий мобильной связи основан на модификации модели Лотки-Вольтерры, которая учитывает прирост патентных данных по поколениям технологий мобильной связи [117]:

$$\begin{cases} \frac{dg_2}{dt} = (a_{22}g_2(t) + a_{23}g_3(t) + a_{24}g_4(t))g_2(t) + b_1\Delta p_{g_2}(t) + c_1\Delta desk(t) \\ \frac{dg_3}{dt} = (a_{32}g_2(t) + a_{33}g_3(t) + a_{34}g_4(t))g_3(t) + b_2\Delta p_{g_3}(t) \\ \frac{dg_4}{dt} = (a_{42}g_2(t) + a_{43}g_3(t) + a_{44}g_4(t))g_4(t) + b_2\Delta p_{LTE}(t) \end{cases} \quad (2.14)$$

где g_2 , g_3 , g_4 – доля технологий 2G, 3G и 4G в общем количестве мобильных подключений в мире,

$\Delta desk$ – прирост доли настольных компьютеров и ноутбуков в общем количестве устройств для выхода в интернет,

Δpg_2 и Δpg_3 – прирост количества патентов по технологиям 2G и 3G соответственно,

Δp_{lte} – прирост количества патентов по технологии LTE за год.

Как и для облачных технологий, поиск соответствующих патентов был осуществлен в базе данных WIPO (по тэгам «2G technology», «3G technology», «4G technology», «5G technology», «LTE», «gsm», «gprs», «CDMA», «WCDMA»). Система дифференциальных уравнений (2.13) была сведена к системе разностных уравнений [117]. Полученные за период 2003-2019 гг. оценки параметров модели (2.14) представлены в табл. 2.21.

Таблица 2.21 - Оценка параметров системы уравнений (2.14) за 2003-2019 гг. (по данным [104, 113])

Поколения	Параметр	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	b_i	c_i	R^2
2 G	значение	2,07	-2,34	-2,12	0,11	1,21	0,69
	t-стат.	2,7	-2,9	-3,1	2,3	2,7	
3 G	значение	0,57	-0,34	-1,31	0,05	нет	0,73
	t-стат.	2,4	-3,1	-3,6	2,5		
4 G	значение	-1,28	1,07	<u>-0,25</u>	0,03	нет	0,78
	t-стат.	-0,4	1,4	-3,6	2,0		

В результате проведенных расчетов получено, что сети 3G и 4G являются «хищниками» по отношению к сетям предыдущего поколения (2G и 3G соответственно). В то же время между сетями 2G и 4G на рассматриваемом промежутке времени наблюдается конкуренция.

Прирост доли каждого поколения технологий мобильной связи положительно коррелирован с приростом числа патентов по соответствующей технологии, прирост доли поколения 2G положительно коррелирован с приростом доли настольных компьютеров и ноутбуков в общем числе устройств, используемых для выхода в интернет. Однако доля таких устройств сокращается, они вытесняются смартфонами и планшетами с поддержкой технологий 3G и 4G.

Для сетей 3G и 4G выявлена положительная корреляция их доли с приростом доли пользователей мобильного широкополосного доступа в интернет [117].

2.2.3.3. Моделирование влияния технико-экономических показателей на диффузию технологий беспроводной связи

Мобильные беспроводные услуги, особенно мобильная широкополосная связь, а также возросшее использование смартфонов и необходимость высокой пропускной способности быстро развивающихся сервисов для них, потребовали от операторов сотовой связи значительных инвестиций в модернизацию беспроводных сетей, чтобы справиться с повышенными требованиями к данным и предложить более высокую скорость соединения, что привело к развертыванию следующего поколения беспроводных технологий. Беспроводная связь в настоящее время используется в космических исследованиях, в военных целях, для беспроводной передачи энергии, для Интернета вещей, Искусственного интеллекта, волоконной оптики, интеллектуальных транспортных систем. Технологии WiFi, WiMax, Bluetooth, Femtocell, поколения мобильной связи являются одними из наиболее важных стандартов беспроводной технологии [126].

Технологии беспроводной связи различаются используемой частотой, скоростью и дальностью действия. По дальности действия беспроводные технологии могут быть классифицированы на персональные (Wireless Personal Area Network, WPAN), локальные (Wireless Local Area Network, WLAN), городские (Wireless Metropolitan-Area Network, WMAN) и глобальные (Wireless Wide Area Network, WWAN) [127].

Развертывание новых сетей или модернизация беспроводных технологий требуют значительных капиталовложений как в оборудование (строительство новых вышек сотовой связи или переоборудование старых под новые стандарты), так и в приобретение лицензий на спектры частот. За период 2017-2022 гг. капитальные вложения отрасли беспроводной связи в США выросли с 26 млрд долл. в 2017 г. до 39 млрд долл. в 2022 г., а накопленные за 10 лет инвестиции в

беспроводные технологии составили более 675 млрд долл., что позволило увеличить скорость загрузки данных в 117 раз, а мобильный трафик в 190 раз по сравнению с 2010 г., при этом количество подписчиков выросло к 2022 г. до 523 млн человек [128].

Инвестиции в беспроводную связь позволили провайдерам США справиться со стремительным ростом спроса на мобильные услуги из-за COVID-19. Согласно данным OOKLA SPEEDTEST, за первые 8 недель после введения карантина во многих странах снизилась средняя скорость загрузки данных (в Китае – на 23,5%, в Италии – на 14,5%, в Испании – на 6,9%, во Франции – на 6%, в России – на 5,1%), при этом в США скорость, наоборот, увеличилась на 4,3% [129].

Эконометрическая модель распространения технологии беспроводной связи была построена на основе панельных данных по 26 европейским странам за период 2012-2018 гг., где показателем распространения служила доля пользователей, использовавших беспроводные технологии для подключения портативных устройств к Интернету, в общей численности населения страны в год t ($Y(t)$). Построены две модели (все p -значения $< 0,05$) [94]:

$$Y(t) = -0,24 + 0,057X_1(t) + 0,001X_2(t) + 1,4X_3(t), R^2 = 0,82$$

$$Y(t) = -10,2 + 0,69X_4(t) + 0,12X_5(t) + 0,005t, R^2 = 0,93$$

где $X_1(t)$ – инвестиции в телекоммуникационную инфраструктуру страны в год t , млрд долл.,

$X_2(t)$ – количество защищенных интернет-серверов на 1 тыс. человек страны в год t ,

$X_3(t)$ – доля пользователей широкополосного доступа в интернет в общей численности населения страны в год t ,

$X_4(t)$ – доля лиц, использующих ноутбуки, планшеты и др. для выхода в интернет вне дома или работы, в общей численности населения страны в год t ,

$X_5(t)$ – доля абонентов мобильной связи в общей численности населения в стране в год t .

По результатам расчетов выявлена положительная корреляция между распространением беспроводных технологий и подключениями интернета вещей, количеством защищенных интернет-серверов на 1 тыс. человек, распространением фиксированного широкополосного доступа в интернет, инвестициями в телекоммуникационную инфраструктуру [94].

Выводы по главе 2

В данной главе диссертации предложен подход к анализу и прогнозированию распространения новых ИКТ, включающий последовательные этапы:

выбор наилучшей функциональной зависимости для описания диффузии отдельной технологии на рынке (в случае отсутствия достаточной информации - использование патентной и библиографической статистики);

моделирование диффузии технологии с учетом влияния макроэкономических факторов;

моделирование диффузии технологии с учетом ее технических характеристик;

моделирование распространения конкурирующих технологий, выявление характера и количественная оценка их взаимного влияния на скорость диффузии и рыночный потенциал технологий;

оценка влияния технологических, политических и социально-экономических факторов на скорость и масштабы распространения новых технологий;

построение прогноза.

Разработанный в диссертации подход был применен для анализа распространения интернета, широкополосного доступа в интернет и облачных технологий в России и ряде зарубежных стран. Было получено, что модифицированные модели диффузии дают лучшее приближение к исходным данным по сравнению с базовыми моделями (1.5-1.7), а полученные на их основе прогнозы существенно отличаются от прогнозов по базовым моделям.

Анализ влияния макроэкономических факторов на диффузию ИКТ показал, что для стран с высоким уровнем доходов важным является показатель плотности населения, тогда как для стран с низким или средним уровнем доходов существеннее влияние уровня безработицы и величины ВВП на душу населения. Предложенная модификация логистического уравнения диффузии позволяет не только улучшить качество приближения на ретроспективе, но и выявить факторы, в наибольшей степени влияющие на распространение технологии. Рассматривая возможные изменения этих факторов в будущем, можно строить прогнозы, соответствующие различным сценариям изменения показателей.

Разработанная методика оценки распространения конкурирующих технологий применена для анализа конкуренции фиксированного и мобильного подключения к интернету, технологий проводного и беспроводного доступа в интернет, а также поколений технологий мобильной связи. В результате проведенного анализа выявлено, что на конкуренцию технологий влияют скорости передачи информации, доступность для населения (более низкая стоимость по сравнению с конкурентами), возможность передачи большого объема информации, более развитый спектр услуг. При этом также необходимо учитывать рост мобильности граждан, все большее количество мобильных устройств, рост спроса на мобильные сервисы и приложения.

Проведенное в этой главе исследование показало, что патентный анализ может быть использован для оценки стадии развития новых технологий. Так, использование данных о патентовании для облачных вычислений показало, что эти технологии пока не достигли стадии зрелости. В целом время до достижения точки пика траектории их развития составляет для разных регионов 7-10 лет. Построенная модель зависимости доли облачных вычислений на рынке информационных услуг в России от ряда факторов свидетельствует о положительном влиянии расширения и модернизации сектора ИКТ, совершенствования программного обеспечения и мер по обеспечению кибербезопасности на скорость диффузии этой технологии.

Разработаны прогнозы распространения интернета, широкополосного доступа в интернет на период 2022-2030 гг. для разных сценариев развития макроэкономических показателей трех групп стран: с высоким, низким и средним уровнем доходов населения.

Предложенная методика может быть применена для прогнозирования распространения новых ИКТ и других прогрессивных технологий.

ГЛАВА 3. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИКТ

3.1. Волновые модели диффузии

Распространение новых информационных технологий происходит не только во времени, но и в пространстве. Как отмечается в работе [130], технико-экономическая эволюция и пространственная динамика часто взаимосвязаны, причем под пространственным измерением авторы понимают не только географическое местоположение, но также среду, создающую благоприятные возможности или, наоборот, барьеры для распространения нововведения [45]. С точки зрения пространственной или географической закономерности часто выделяют, так называемый, «эффект соседа» [131], воздействие более развитого региона на его ближайшее окружение, рассматривая связь между расстоянием и последовательностью внедрения инноваций. При этом расстояние может измеряться не только в физическом, но и в социокультурном или технико-экономическом плане. Кроме того, по мнению ряда исследователей, инновации могут распространяться посредством расширения ареала их проникновения, причем процесс проникновения на новые «территории» сопровождается сохранением нововведений на предыдущих «территориях» («диффузия расширения») [132].

Основной вопрос, касающийся изучения диффузии с пространственной точки зрения, заключается в том, может ли дополнительная информация о пространственных аспектах диффузии помочь в прогнозировании и анализе [45].

Пространственно-временные модели, (или модели типа «реакция-диффузия»), применяются для описания многих явлений в химии, биологии, экологии и других областях, в которых некоторое возмущение выводит систему из состояния равновесия, вызывает процесс развития, сопровождающийся появлением бегущей волны различной природы (концентрации химического

вещества, электрического сигнала, потока энергии и т.д.). Эти бегущие волны могут влиять на изменения системы намного быстрее, чем прямые диффузионные процессы, и сопровождают процесс диффузии. Например, горение сопровождается массо- и теплообменом с окружающей средой, в живых организмах, как правило, существуют бегущие волны концентраций [133]. Модели «реакция-диффузия» применяются в популяционной и молекулярной генетике, нейробиологии, для моделирования эпидемических процессов распространения заболеваний. Кроме того, они стали применяться для описания социальных процессов, где культурные атрибуты как бы конкурируют за свою группу людей (например, модели языкового соревнования, где один язык теряет своих носителей и исчезает (см., например, работы [134], [135], [136] и др.).

В основе многих исследований в области моделирования процессов «реакция-диффузия» лежит уравнение вида [45]:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = F(Y) + D \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} \quad (3.1).$$

Предполагается, что $F(Y)$ – непрерывная и дифференцируемая функция. В работах Фишера [137] и Колмогорова, Петровского, Пискунова [138] независимо друг от друга было предложено это уравнение для функции $F(Y)$, определенной на интервале $(0;1)$, $F(0)=F(1)=0$, $F(Y)>0$ при $0<Y<1$. Оно предназначалось для описания распространения в некоторой области пространства волны плотности численности популяции доминантного гена от некоторого ненулевого начального значения. Для этого уравнения, называемого уравнением Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова (ФКПП), было показано, что существует такая переменная $z=x\pm ct$, для которой $Y(x, t)=W(x\pm ct)=W(z)$, и уравнение (3.1) сводится к обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка вида:

$$\pm c \frac{dW}{dz} = \frac{d^2W}{dz^2} + F(z) \quad (3.2)$$

Такое уравнение при выполнении определенных условий имеет решение в виде бегущей волны, т.е. волны, распространяющейся с постоянной скоростью, сохраняя при этом свою форму в пространстве [139]. Бегущие волны обычно описывают переход от одного состояния равновесия к другому, зависящий от

свойств самой среды. В теории бегущих волн определяются условия их существования, устойчивости по отношению к малым возмущениям, скорость их распространения [140].

В многочисленных исследованиях было показано, что существование и свойства бегущих волн уравнения (3.1) во многом определяются свойствами функции $F(Y)$. Наиболее изученным и используемым видом функции является логистическая зависимость [141]:

$$F(Y)=kY(1-Y).$$

Так, начально-краевая задача для одномерного квазилинейного уравнения Фишера, Колмогорова, Петровского, Пискунова (ФКПП) имеет вид:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + aY - bY^2,$$

где t – время,

x – пространственная переменная,

D – коэффициент диффузии,

$a=a(x,t)$ – коэффициент прироста бактерий,

$b=b(x,t)$ – коэффициент конкурентных потерь,

Y – искомая кинетическая переменная, начальные условия Дирихле задаются в виде: $Y(-l,t)=Y(l,t)=0$, $t \in (0, T]$, $x \in (-l/2, l/2)$ [142].

При описании динамики численности населения темпы воспроизводства часто рассматривают в форме $F(y)=aY^n(1-Y)-bY$ [143]. При $n=1$ коэффициент воспроизводства a пропорционален плотности населения и доступным ресурсам $(1-Y)$. Если смертность населения меньше рождаемости ($a>b$), то функция $F(Y)$ имеет два нуля: $w_1 = 0$ и $w_2 = 1-b/a$.

В работе Колмогорова, Петровского, Пискунова установлено, что предельная скорость распространения фронта волны для функции $F(Y)$, удовлетворяющей условиям $F(0)=F(1)=0$, $F(Y)>0$ при $0<Y<1$, равна $c\sqrt{DF(0)_{min}}$.

Решение уравнения (3.2) вида $Y(x,t)=W(x\pm ct)=W(z)$ устанавливает связь между временной и пространственной координатами и называется автоволновым решением. При изменении x форма кривой, изображающей зависимость $W(z)$, не

меняется, а сама эта кривая перемещается со скоростью c . При этом скорость распространения волны в пространстве существенно больше, чем скорость, с которой происходит распространение за счет диффузии [144].

В работе [145] для некоторых специальных случаев найдено точное решение уравнения ФКПП. Авторами получено, что минимальная скорость волны зависит от значений параметров, используемых в модели. Если диффузия умеренно нелинейна, то метод собственных значений правильно предсказывает минимальную скорость волны, но при сильной нелинейности метод собственных значений дает неверный ответ.

В работе [146] процесс принятия инноваций был описан как волнообразное явление, распространяющееся в пространстве и времени, на примере борьбы с туберкулезом в сельскохозяйственных районах. В статье [147] пространственно-временная модель диффузии была применена для описания процесса внедрения низкоуглеродной технологии в электросети, расположенной в Великобритании. В качестве пространственных переменных использовались координаты фидеров, которые определяли локальную сеть, с помощью волнового уравнения строился прогноз распространения технологии среди домашних хозяйств.

3.2. Распространение ИКТ во времени и пространстве

Различные ИКТ характеризуются индивидуальными пространственно-временными траекториями в течение своего жизненного цикла, зависящими от адаптивной стратегии экономических субъектов [148]. Однако условия для создания, принятия и адаптации инноваций неравномерно распределены в пространстве: социокультурные, географические, экономические, политические факторы оказывают влияние на распространение новых технологий, создавая благоприятные условия для их распространения или, наоборот, барьеры, препятствующие процессу диффузии (например, высокие расходы на внедрение инновации) [45].

Диффузия ИКТ тоже может рассматриваться как волновой процесс. Пространственной характеристикой такого процесса может служить показатель ВВП на душу населения, так как распространение новых технологий начинается в странах с высоким уровнем доходов населения и направлено в сторону стран с низким уровнем дохода (рис.3.1, 3.2).

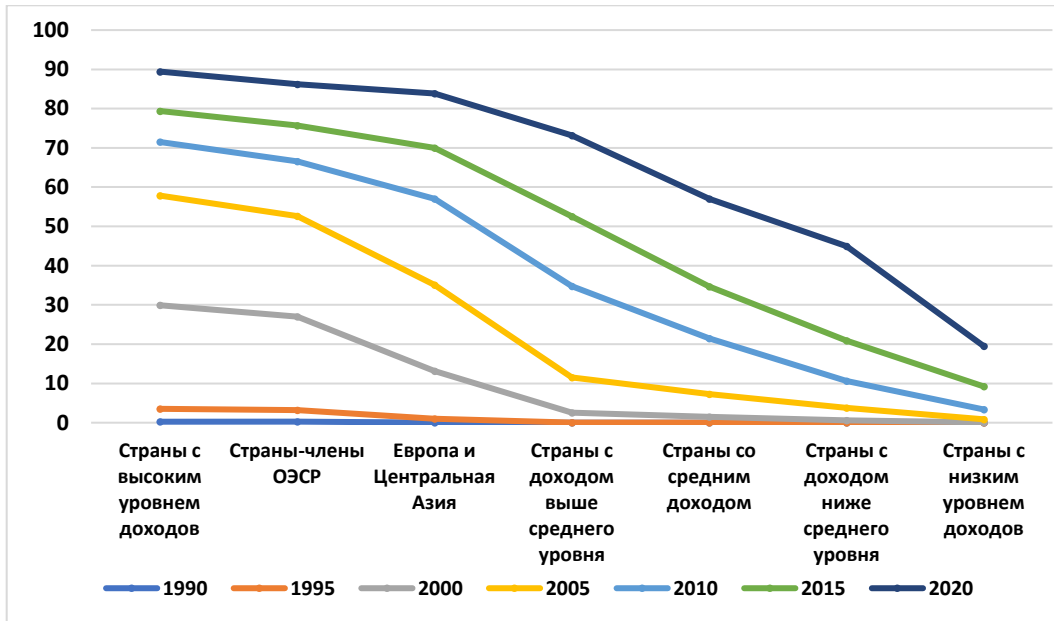


Рисунок 3.1 - Динамика распространения интернета по группам стран, количество пользователей на 100 человек населения (данные [89])

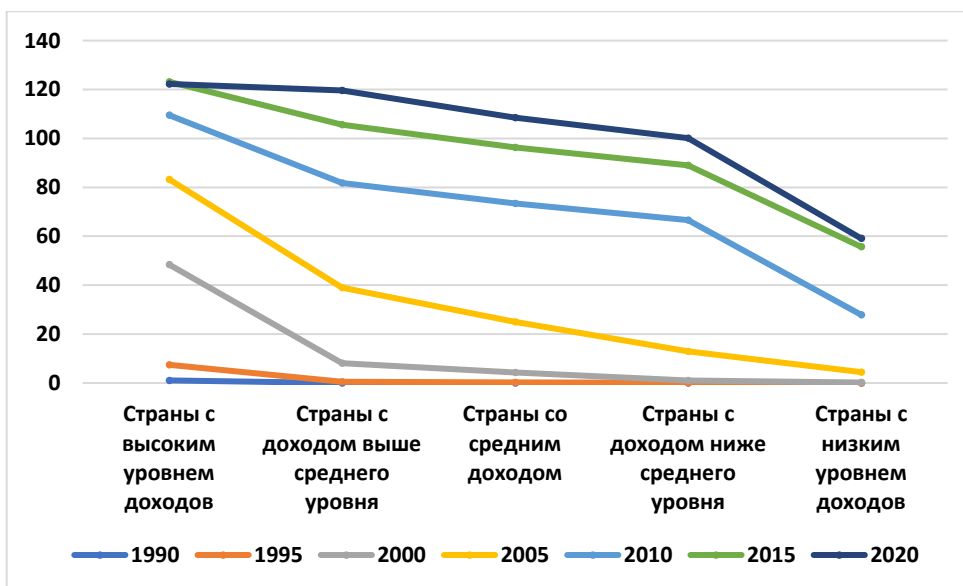


Рисунок 3.2 - Динамика распространения мобильной связи по группам стран с разным уровнем дохода населения по ППС, на 100 человек жителей (данные World Bank [89])

При этом относительные уровни ВВП на душу населения по ППС в постоянных ценах 2017 г. по группам стран (относительно показателя для стран с высоким уровнем доходов населения) почти не меняются для стран с низким уровнем доходов и возрастают для остальных групп стран (см. табл.3.1).

Таблица 3.1 - Отношение ВВП на душу населения по ППС в постоянных ценах 2017 г. групп стран к соответствующему показателю стран с высоким уровнем дохода (рассчитано по данным [89])

Год	Страны с высоким уровнем доходов населения	Страны с уровнем доходов выше среднего	Страны со средним уровнем доходов	Страны с уровнем доходов ниже среднего	Страны с низким уровнем доходов
1990	1	0,183	0,144	0,099	0,042
1995	1	0,176	0,135	0,089	0,035
2000	1	0,180	0,135	0,088	0,033
2005	1	0,209	0,154	0,098	0,035
2010	1	0,269	0,191	0,116	0,039
2015	1	0,309	0,215	0,127	0,040
2020	1	0,346	0,235	0,137	0,040

Модель диффузии инноваций, которая учитывала только пространственное распространение, была предложена шведским ученым Т. Хегерстрандом [131]. В ней обосновывалось наличие «эффекта соседа» для зависимости скорости распространения нового продукта, диффузия инновации определялась размерами «информационного поля» ее потенциальных потребителей и предполагалось, что распространение инновации из точек своего происхождения аналогично распространению волны, которая проходит 4 стадии: возникновение, быстрое распространение, замедление и насыщение [45].

Модель Хегерстранда в дальнейшем была усовершенствована с помощью включения таких факторов, как уровень коммуникации между новаторами и последователями, степень соответствия между инновациями и существующей

системой хозяйствования, реальных или воспринимаемых преимуществ инноваций, индивидуальных и социальных отношений к изменениям.

В дальнейшем в модель была введена дополнительная временная координата и получена волновая модель диффузии нововведений, которая учитывала различие распространения в зависимости от близости территорий к центральным областям страны [83].

Модель диффузии, учитывающая эффект влияния межличностного общения и экономического неравенства на темпы распространения инноваций во времени и пространстве, предложена в работе [88]. При этом параметр диффузии D может быть интерпретирован как среднее значение информационного поля, возникающего в результате социального взаимодействия населения разных регионов [45].

Пространственно-временные модели диффузии инноваций рассматриваются также в работах [149, 150] и др. В работе [94] процесс диффузии инноваций анализируется путем моделирования движения физических лиц по аналогии с моделированием различных физических процессов. В работе [132] распространение нововведений рассматривается с точки зрения взаимодействия между пользователями технологии и не принявшими ее, в результате чего происходит пространственное движение нововведений, а не самих пользователей.

Во всех указанных работах под пространственной переменной понимается географическое расстояние между полюсами роста нововведений и рассматриваемыми территориями, а в качестве функции $F(Y)$ в уравнении «реакция-диффузия» (3.1) в основном используется логистическая зависимость.

В работах В.М. Полтеровича и Г.М. Хенкина [151, 152] при описании эволюции эффективности фирм в процессе создания и заимствования технологий был получен дифференциально-разностный аналог уравнения Фишера-Колмогорова:

$$\frac{dF_n}{dt} = -\alpha(F_n - F_{n-1}) - \beta(1 - F_n)(F_n - F_{n-1}), \quad (3.3)$$

где F_n – доля фирм с уровнем эффективности не больше n , α и β – доля фирм, переходящих на уровень n в интервале $[t-1, t]$ в результате инноваций и заимствования технологий. Решением дифференциально-разностного уравнения (3.3) является волновая функция

$$F_n(t, A) = \frac{1}{1 + A\alpha(\alpha + \beta)^{-n} e^{-\beta t}}, \quad (3.4)$$

где A – параметр, зависящий от начальных условий [151].

В [151] указывается на то, что распределение фирм по эффективности движется в направлении роста эффективности с почти постоянной скоростью, что позволяет сделать вывод о существовании бегущей волны. Такой подход позволил объединить логистическую временную зависимость распространения технологий между фирмами и устойчивую пространственную форму распределения производства по уровням эффективности [45].

3.3. Спецификация модели

Как указывалось ранее, свойства пространственно-временной модели во многом зависят от вида функции $F(Y)$. Для описания процессов диффузии в физике, биологии и ряде других наук кинетическая составляющая наиболее адекватно описывается логистической функцией. Для моделирования диффузии инноваций в этом случае, на наш взгляд, наиболее адекватно описывающей временное распространение функцией является модель Басса (1.5), т.е. исходная пространственно-временная модель в данной диссертации имеет вид [45]:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \left(p + q \frac{Y}{M}\right) (M - Y) + D \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}, \quad (3.5)$$

где D – параметр волны, предполагаемый постоянным,

p, q – коэффициенты инновации и имитации из модели Басса,

M – потенциал рынка исследуемой технологии.

В качестве «пространственной» переменной x рассматриваются различные макроэкономические показатели, характеризующие степень различия между исследуемыми объектами.

При изучении свойств такого уравнения предполагается, что «пространственное» измерение волны должно быть безразмерным [153].

Заменой переменных

$$x^* = \frac{x}{\sqrt{MD}}, Y^* = \frac{Y}{M} \quad (3.6)$$

уравнение приводится к виду (* опускаются)

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = (p + qY)(1 - Y) + \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} \quad (3.7)$$

Как и для уравнения (3.1) предполагается, что для уравнения (3.7) существует решение в виде бегущей волны $z=x-ct$. Вводится новая переменная $W(z)=(1/M)*Y(x,t)$, что приводит к уравнению вида:

$$\frac{d^2W}{dz^2} + c \frac{dW}{dz} + (p + qW)(1 - W) = 0 \quad (3.8)$$

где $z=x-ct$, c – скорость волны.

Замена переменных $V = \frac{dW}{dz}$ сводит (3.8) к системе уравнений

$$\begin{cases} V = \frac{dW}{dz} \\ \frac{dV}{dz} = -cV - (p + qW)(1 - W) \end{cases} \quad (3.9)$$

Положениями равновесия системы (3.9) являются точки $(-p/q, 0)$ и $(1, 0)$. Для нелинейной системы они определяются с помощью ее линеаризации (Эрроусмит и Плейс [154], Понтрягин [155]).

В этом случае матрица Якоби системы (3.9) имеет вид:

$$\begin{pmatrix} -\lambda & 1 \\ p - q + 2qW & -c - \lambda \end{pmatrix}$$

В положении равновесия $(-p/q, 0)$ собственными значениями якобиана системы являются значения

$$\lambda_{1,2} = \frac{-c \pm \sqrt{c^2 - 4(q + p)}}{2}$$

Случай 1. $c^2 > 4(q + p)$, тогда точка $(-p/q, 0)$ является устойчивым узлом.

Случай 2. $c^2 < 4(q+p)$, тогда собственные значения будут комплексными числами с отрицательной действительной частью, следовательно, $(-p/q)$ будет асимптотически устойчивой точкой.

Случай 3. $c^2 = 4(q+p)$, тогда получается кратное собственное значение, равное $-0,5*c$.

Для прохождения траектории через $(-p/q, 0)$ необходимо, чтобы $c \geq 2\sqrt{p+q}$.

В точке $(1, 0)$ собственные значения определяются соотношением

$\lambda_{1,2} = \frac{-c \pm \sqrt{c^2 + 4(q+p)}}{2}$, откуда следует, что $(1, 0)$ является седловой точкой, через которую проходят две траектории. Их уравнения в окрестности этой точки можно записать в виде $V_1 = \lambda_1(W-1)$ и $V_2 = \lambda_2(W-1)$ [45].

Если волна описывается уравнением $z = x + ct$, то точка покоя $(-p/q, 0)$ будет неустойчивой, если $c^2 > 4(q+p)$.

$$\lambda_{1,2} = \frac{c \pm \sqrt{c^2 - 4(q+p)}}{2}.$$

В точке $(1, 0)$ все собственные значения системы (3.9) являются положительными, положение равновесия также является неустойчивым.

В работе Мюррея [133] для уравнения Фишера-Колмогорова с логистическим уравнением диффузии исследуется приближенное решение с помощью стандартной сингулярной теории возмущений [156]. В окрестности фронта вводится изменение переменной при $z = 0$, таким образом, что можно найти решение в виде разложения Тейлора при малом параметре ε :

$$\tau = z/c = \varepsilon^{1/2} * z.$$

В этом случае уравнение (3.8) преобразуется в задачу с начальными условиями и ограничениями вида [45]:

$$\varepsilon \frac{d^2 g}{d\xi^2} + \frac{dg}{d\xi} + (p + qg)(1 - g) = 0, \quad g(-\infty) = 2, g(\infty) = 0. \quad (3.10)$$

Решение задачи (3.10) ищется в виде:

$$g = g_0 + \varepsilon g_1 + o(\varepsilon^2) \quad (3.11)$$

Подстановка (3.11) в уравнение (3.10) дает следующее соотношение:

$$\varepsilon \frac{d^2 g_0}{d\xi^2} + \varepsilon^2 \frac{d^2 g_1}{d\xi^2} + \frac{dg_0}{d\xi} + \varepsilon \frac{dg_1}{d\xi} + p + qg_0 - pg_0 - qg_0^2 + \varepsilon(qg_1 - 2qg_0g_1 - pg_1) - \varepsilon^2 qg_1^2 = 0$$

Группировка слагаемых без ε определяет уравнение для g_0 :

$$\frac{dg_0}{d\xi} + p + qg_0 - pg_0 - qg_0^2 = 0, \quad (3.12)$$

решение которого при начальном значении $g_0(0)=\lambda$ имеет вид (см. Приложение 4):

$$g_0(\tau) = \frac{(p + \lambda q)e^{(p+q)\tau} - (1 - \lambda)p}{(p + \lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1 - \lambda)q}$$

Слагаемые уравнения (3.12) с множителем ε дают уравнение:

$$\frac{d^2 g_0}{d\xi^2} + \frac{dg_1}{d\xi} + g_1(q - 2qg_0 - p) = 0 \quad (3.13)$$

Решением уравнения (3.13) является следующая функция:

$$g_1 = \left[\operatorname{Ln} \frac{\left((p + \lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1 - \lambda)q \right)^2}{(p + q)^2 e^{(p+q)\tau}} + \frac{\mu}{(1 - \lambda)(p + \lambda q)} \right] \frac{(p + \lambda q)(p + q)^2 (1 - \lambda)e^{(p+q)\tau}}{\left((p + \lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1 - \lambda)q \right)^2}$$

Вывод этой формулы представлен в Приложении 4.

С учетом полученного выражения для g_1 , приближенное решение волнового уравнения (3.10) описывается выражением [45]:

$$g(\tau) = \frac{(p + \lambda q)e^{(p+q)\tau} - (1 - \lambda)p}{(p + \lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1 - \lambda)q} + \frac{1}{c^2} \left[\operatorname{Ln} \frac{\left((p + \lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1 - \lambda)q \right)^2}{(p + q)^2 e^{(p+q)\tau}} + \frac{\mu}{(1 - \lambda)(p + \lambda q)} \right] \quad (3.14)$$

$$* \frac{(p + \lambda q)(p + q)^2 (1 - \lambda)e^{(p+q)\tau}}{\left((p + \lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1 - \lambda)q \right)^2}$$

Это приближенное решение при значении $\lambda=0$ будет использовано в дальнейших расчетах для описания диффузии ИКТ по ФО РФ, по странам Азии, по группам стран с различным уровнем доходов населения.

3.4. Моделирование диффузии ИКТ с помощью пространственно-временных моделей

3.4.1. Пространственно-временные модели диффузии ИКТ в ФО РФ

В настоящей диссертации исследование диффузии ИКТ осуществлялось в 2 этапа. На первом этапе проводился анализ на основе динамических рядов, определялись параметры модели Басса. Далее с учетом полученных результатов исследовалось пространственно-временное решение с фиксированным показателем рыночного потенциала технологии.

Анализ диффузии ИКТ по ФО РФ показывает, что лидером по распространению интернета, мобильной связи, ШДИ является Москва (см. табл. 3.2).

Таблица 3.2 - Показатели распространения ИКТ в регионах России по отношению к показателям Москвы, 2022 г., % (рассчитано по данным [23, 27])

ФО РФ	Телефонная плотность ГТС	Мобильная связь	Количество пользователей интернета	ФШДИ	МШДИ
ЦФО	59,7	80,1	95,5	79,8	89,6
СЗФО	47,6	57,6	92,4	70,4	93,1
ПФО	27,2	36,9	96,0	60,7	76,6
СФО	14,6	58,3	94,6	30,7	54,2
УФО	40,3	60,4	93,3	67,0	80,4
ЮФО	37,5	55,9	93,8	75,3	83,4
СКФО	37,0	52,4	91,3	63,7	80,1
ДВФО	40,1	63,5	94,1	53,7	80,8
РФ	42,6	100,0	94,1	67,3	82,1
Москва	100,0	80,1	100,0	100,0	100,0

Столица лидирует также по показателям доли затрат на НИОКР в ВРП и ВРП на душу населения, поэтому ее научно-технический и экономический потенциал рассматривались в качестве образцов для ФО РФ.

Характер распространения технологии мобильной связи (рис.3.3) делает обоснованным пространственно-временной подход к моделированию диффузии ИКТ по регионам.

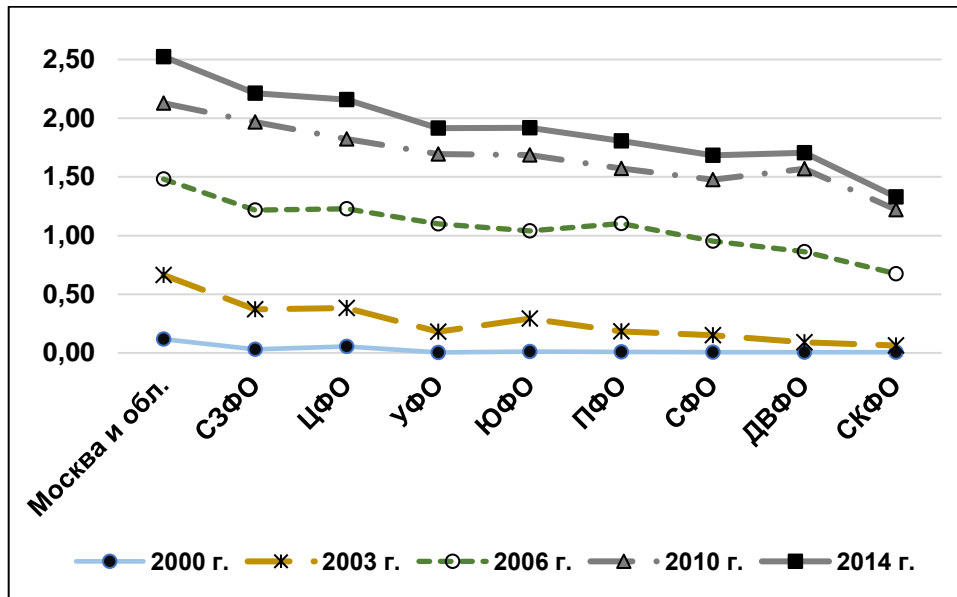


Рисунок 3.3 - Динамика распространения мобильной связи по ФО и городам РФ, количество пользователей в расчете на 1 жителя (по данным [23])

3.4.1.1. Моделирование диффузии мобильной связи по ФО РФ

В качестве моделируемого показателя для оценки распространения мобильной связи использовались данные Росстата по проникновению подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек населения.

Этап 1. Необходимо отметить, что для наиболее точной оценки параметров модели Басса требуется, чтобы технология достигла 50%-ного уровня распространения, а также имелись данные с момента начала диффузии. Региональная статистика РФ (из-за отсутствия данных) по ряду технологий не позволяет получить точные оценки параметров модели. Только для распространения мобильной связи были получены соответствующие показатели.

Оценка параметров модели (1.5) была проведена для двух периодов времени: 2000-2015 гг. (см. табл.3.3 А) и для 2000-2021 гг. (табл. 3.3 Б).

В среднем по России для большего периода времени (2000-2021 гг.) получен более высокий коэффициент инновации (p) и более низкий коэффициент имитации (q), чем для периода 2000-2015 гг.

Таблица 3.3 - Оценка параметров модели Басса для диффузии мобильной связи по ФО РФ

А) Период 2000-2015 гг.

Округа	p	q	M	T^*	R^2
Центральный	0,045	0,342	2,222	5,23	0,62
Северо-Западный	0,046	0,377	2,302	4,99	0,69
Приволжский	0,055	0,448	1,770	4,16	0,49
Сибирский	0,051	0,440	1,714	4,41	0,51
Уральский	0,057	0,410	1,940	4,23	0,49
Южный	0,073	0,258	1,998	3,80	0,15
Дальневосточный	0,046	0,504	1,689	4,35	0,51
Северо-Кавказский	0,034	0,609	1,337	4,47	0,62
В среднем, Россия	0,048	0,405	1,920	4,71	0,60
Москва	0,053	0,278	2,637	4,99	0,54
Санкт-Петербург	0,055	0,204	2,921	5,07	0,43

Б) период 2000-2021 гг.

Округа	p	q	M	T^*	R^2
Центральный	0,053	0,140	2,856	5,0	0,203
Северо-Западный	0,045	0,409	2,316	4,9	0,658
Приволжский	0,060	0,353	1,886	4,3	0,467
Сибирский	0,052	0,362	1,828	4,7	0,534
Уральский	0,057	0,373	2,001	4,4	0,540
Южный	0,069	0,365	1,861	3,8	0,321
Дальневосточный	0,045	0,511	1,691	4,4	0,580
Северо-Кавказский	0,034	0,608	1,347	4,5	0,672
В среднем, Россия	0,052	0,310	2,071	4,9	0,505
Москва	0,057	0,132	3,298	4,4	0,269
Санкт-Петербург	0,049	0,285	2,719	5,3	0,565

Для всех ФО, кроме ЮФО, получен более высокий потенциал рынка (M) в период 2000-2021 гг. по сравнению с более коротким периодом. Для периода 2000-2015 гг. наименьшее значение коэффициента имитации и самый высокий рыночный потенциал технологии мобильной связи был получен для Санкт-Петербурга, однако в 2000-2021 гг. оценка рыночного потенциала мобильной связи для Москвы оказалась более чем в 1,2 раза выше показателя для Санкт-Петербурга, а также для столицы получен самый низкий коэффициент имитации q . Как уже отмечалось в Главе 1, в связи с пандемией коронавируса в некоторых регионах сократились затраты на ИКТ, тогда как в Москве и Санкт-Петербурге выросли расходы государственных организаций на ИКТ, в результате чего на два города в 2020 г. пришлось почти 48% общих затрат регионов на ИКТ [157].

Этап 2. На этом этапе было построено приближенное решение уравнения (3.8) в виде (3.14) при заданном значении потенциала рынка M . Волновая переменная $z=x^*-ct$, где c – определяемая постоянная скорость волны, была переведена в первоначальные значения x и t (3.14), таким образом,

$$z = \frac{1}{\sqrt{MD}}(x - \sqrt{MD}c(t - t_0)) \quad \text{или} \quad z = \frac{x}{A} - c(t - t_0), \quad (3.15)$$

где $A = \sqrt{MD}$, откуда $D=A^2/M$ [45].

Так как приближенное решение волнового уравнения (4.14) было получено для $y^*=y/M$ и λ полагался равным нулю, то расчет производился по формуле:

$$\frac{Y(t)}{M} = \frac{pe^{(p+q)z} - p}{pe^{(p+q)z} + q} + \frac{1}{c^2} \left[\text{Ln} \frac{((pe^{(p+q)z} + q)^2)}{(p+q)^2 e^{(p+q)z}} + \frac{1}{2p} \right] \frac{p(p+q)^2 e^{(p+q)z}}{(pe^{(p+q)z} + q)^2} \quad (3.16),$$

где z задавался формулой (3.15), а в качестве t_0 брался начальный период распространения технологии ($t_0=2000$), в качестве x рассматривались следующие показатели:

- логарифм среднего значения ВРП на душу населения ФО за период 2000-2019 гг. в тыс. руб.;
- отношение среднего значения ВРП на душу населения ФО к среднему значению ВРП на душу населения Москвы;

- среднее значение доли внутренних затрат ФО на НИОКР в ВРП;
- отношение среднего значения доли внутренних затрат на НИОКР в ВРП к соответствующему показателю Москвы;
- среднее значение затрат на ИКТ в ВРП за период 2000-2020 гг.

Также были включены в рассмотрение показатели доли городских жителей в общей численности населения ФО и доли инновационно активных организаций в общей численности организаций ФО. Для модели диффузии мобильной связи взято значение $M=1,95$ (оценка, полученная на этапе 1).

Расчеты параметров моделей проводились с помощью пакета Statistica. В табл. 3.4 представлены результаты расчетов по формуле (3.16) для диффузии мобильной связи при различных значениях «пространственной» переменной.

Таблица 3.4 - Оценки параметров модели (3.16) диффузии мобильной связи по ФО РФ при различных пространственных переменных ($M=1,95$)

Показатель		c	D	p	q	R ²	SSE
Логарифм ВРП на душу населения ФО	значение	-0,298	2,418	0,226	0,903	0,91	7,84
	t-stat	-7,7	7,8	4,5	5,3		
ВРП на душу населения ФО/ВРП на душу населения Москвы	значение	-1,321	0,025	0,0051	0,331	0,91	8,23
	t-stat	-2,6	2,1	2,6	3,9		
Доля затрат на НИОКР в ВРП ФО/доля затрат на НИОКР в ВРП Москвы	значение	-1,359	0,034	0,004	0,323	0,92	7,33
	t-stat	-2,6	2,3	2,7	3,7		
Затраты на ИКТ на душу населения ФО	значение	-0,899	1,47	0,012	0,286	0,89	7,94
	t-stat	-5,6	4,0	5,3	10,2		
Доля затрат на ИКТ в ВРП ФО, %	значение	-1,391	0,216	0,0045	0,326	0,92	7,70
	t-stat	-2,7	2,5	2,9	3,8		
Доля городских жителей в общей численности населения ФО, %	значение	-0,39	639,6	0,353	0,58	0,91	9,69
	t-stat	-20,7	8,6	15,2	8,3		

Таблица 3.4 - Продолжение

Доля инновационно активных организаций в общем числе организаций ФО, %	значение	-0,55	2202	0,502	0,259	0,90	11,4
	t-stat	-29,1	0,12	26,7	4,1		
Доля затрат на НИОКР в ВРП ФО/доля затрат на НИОКР в ВРП Москвы, среднее за период	значение	-1,35	0,036	0,0046	0,322	0,92	7,32
	t-stat	-2,6	2,36	2,76	3,71		
Доля затрат на НИОКР в ВРП ФО, среднее за период	значение	-1,353	0,178	0,0047	0,322	0,92	7,39
	t-stat	-2,6	2,34	2,81	3,66		

Согласно результатам расчетов, наилучшее приближение в виде бегущей волны было получено для среднего за период показателя отношения доли затрат на НИОКР в ВРП к показателю Москвы (наиболее высокий коэффициент детерминации и наименьшая сумма квадратов остатков).

Наилучшее приближение было получено для ФО со средним уровнем доходов на душу населения. Это связано с тем, что заранее был задан средний потенциал рынка, поэтому для ФО с высоким и низким уровнями доходов получена недооценка и, наоборот, переоценка их рыночного потенциала технологии мобильной связи (см. рис.3.4). Полученные скорости c для относительных «пространственных» переменных (относительно показателей Москвы) удовлетворяют условию существования волны для уравнения в исходной форме (3.13) ($|c| > c^* = 2\sqrt{D(p+q)}$). Для этих относительных «пространственных» переменных оценка скорости волны оказалась близкой ($|c| \approx 1,35 - 1,39$).

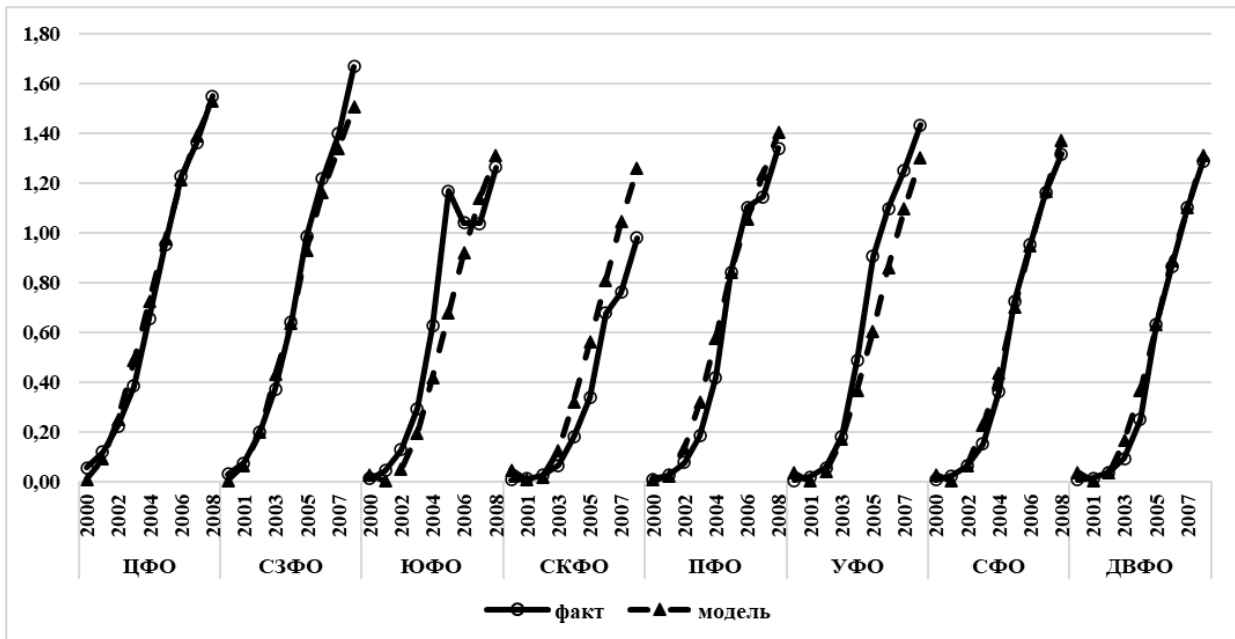


Рисунок 3.4 - Распространение мобильной связи по ФО РФ с пространственной переменной, равной среднему за период отношению доли затрат на НИОКР в ВРП ФО к соответствующему показателю Москвы, 2000-2008 гг.

Для округов с наименьшим уровнем доходов могут оказывать влияние другие факторы, неучтенные в качестве «пространственной» переменной, и задерживающие распространение мобильной связи.

Скорость волны (c) показывает, на какую величину за единичный интервал изменяется «пространственная» характеристика, определяющая данный уровень распространения технологии. Графики зависимостей, представленные в Главе 2 на рис. 2.3-2.4, свидетельствуют о том, что между «пространственной» переменной логарифма ВВП на душу населения и годом достижения страной или регионом определенного уровня распространения технологии имеется отрицательная зависимость, т.е. для волновой переменной z выполняется соотношение $z=x+ct$. Проведенные расчеты для распространения мобильной связи в ФО РФ подтвердили этот вывод.

Для ненормализованных пространственных переменных скорость волны c^* определяется произведением cA . По этому показателю максимальное абсолютное значение скорости пространственного распространения достигается для показателя

доли инновационно активных организаций в общем числе организаций ФО, % (24,3), а минимальное – для доли затрат на НИОКР в ВРП ФО (0,05).

Полюсы роста (см., например, [158]), в которых возникают инновации, обычно характеризуются наивысшими значениями «пространственных» переменных. Если в момент времени $t=0$ в полюсе роста значение «пространственной» переменной равно x_0 , то в регионе со значением x_1 тот же самый уровень распространения технологии будет достигнут в момент времени t^*

$$t^* = \frac{x_1 - x_0}{c} . \quad (3.17)$$

Необходимо отметить, что приближенное решение волнового уравнения (3.16) было получено для небольшого изменения параметра z , а скорость волны может быть постоянной на начальной стадии распространения технологии. Поэтому далее расчеты проводились на более коротком промежутке времени (до 2009 г., см. Приложение 5, табл. П1).

В результате моделирования, используя формулу (3.17), получено, что по показателю отношения ВВП ФО к ВВП Москвы, среднего за период, распространение мобильной связи в УФО на начальном этапе отставало на 0,9 года, в ЦФО, СЗФО – на 1,4 года, в ПФО, СФО, ЮФО и ДВФО – на 1,55-1,87 года, в СКФО – на 2,1 года (см. Приложение 5, табл. П6).

Однако в период 2009-2021 гг. произошло ускоренное развитие новых поколений технологий в центральных регионах, в результате различия в диффузии мобильной связи по ФО РФ стали значительнее, а скорость волны, рассчитанная для отношения ВРП ФО к ВРП Москвы, среднего за период, для 2000-2008 гг. оказалась выше, чем для 2009-2021 гг. (0,302 и 0,008 соответственно). Следовательно, увеличился временной разрыв между показателями распространения ИКТ в Москве и в ФО РФ. Например, показатель для Москвы и Московской области в 2 пользователя мобильной связи на 1 жителя региона (2009 г.) был достигнут в СЗФО в 2011 г., в ЦФО – в 2012 г., в УФО – в 2016 г., в ПФО – в 2021 г. В остальных ФО этот показатель пока не достигнут [45].

Вместе с оценкой модели (3.16) по всем ФО в целом были оценены модели для групп регионов, выделенных в п.1.1.5 (см. табл. 3.5).

Таблица 3.5 - Оценка параметров модели (3.16) для распространения мобильной связи по ФО РФ за период 2000-2021 гг. с показателем среднего значения отношения затрат на НИОКР в ФО к затратам на НИОКР Москвы

Параметр	Все ФО	Группа 1	Группа 2	Группа 3
c^*	-0,335*	-0,776*	-0,475*	-0,134*
D	0,224*	0,930*	0,495*	0,047*
M	2,000*	2,305*	1,876*	1,747*
p	0,451*	0,460*	0,481*	0,442*
q	0,271*	0,209*	0,399*	0,287*
R^2	0,921	0,980	0,995	0,950
SSE	6,929	0.804	0,045	1,698

* p -значение < 0,01

Оценка потенциала распространения сотовой связи (M) увеличилась для всех групп ФО, величина скорости волны и ее показателя распространения оказались самыми высокими для ФО группы 1, самый высокий коэффициент инновации и имитации получен для группы 2 (ПФО). Оценка коэффициента имитации в целом по всем ФО оказалась выше, чем полученная за период до 2016 г. (см. табл. 3.3 А).

3.4.1.2. Моделирование диффузии МШДИ и ФШДИ для населения

Данные по количеству МШДИ и ФШДИ для населения по ФО РФ в Росстате представлены за период 2011-2021 гг. Как и в случае мобильной связи, на первом этапе были рассчитаны показатели динамической модели Басса, после чего полученные значения доли рынка технологий (M) были заданы для расчетов по формуле (3.16). Полученные оценки параметров моделей с различными «пространственными» переменными представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Оценка параметров модели (3.16) для распространения МШДИ и ФШДИ среди населения по ФО РФ за период 2011-2021 гг. с различными пространственными переменными

Параметры		c	D	p	q	R ²	SSE
ФШДИ (M=0,24)							
Логарифм ВРП на душу населения ФО	значение	-0,112	2,032	0,041	0,850	0,75	0,058
	t-stat	-4,1	4,1	0,1	1,8		
ВРП на душу населения ФО/ВРП на душу населения Москвы	значение	-0,637	0,012	0,0041	0,204	0,70	0,068
	t-stat	-3,5	3,4	1,4	12,8		
Доля затрат на НИОКР в ВРП	значение	-0,462	0,917	0,010	0,235	0,64	0,082
	t-stat	-2,5	2,4	1,6	11,1		
Затраты на ИКТ на душу населения ФО	значение	-0,357	17,7	0,225	0,146	0,68	0,086
	t-stat	-16,5	3,9	2,8	0,8		
Доля городских жителей в общей численности населения ФО, %	значение	-0,605	64,9	0,0004	0,178	0,91	0,028
	t-stat	-8,6	8,8	2,3	27,3		
МШДИ (M=1,5)							
Логарифм ВРП на душу населения ФО	значение	-0,257	2,35	0,109	0,561	0,81	0,342
	t-stat	-10,1	6,1	5,8	4,9		
ВРП на душу населения ФО/ВРП на душу населения Москвы	значение	-0,371	0,301	0,183	0,318	0,80	0,365
	t-stat	-28,7	3,6	26,6	4,6		
Доля затрат на НИОКР в ВРП	значение	-0,362	2,52	0,182	0,384	0,84	0,287
	t-stat	-39,2	6,5	37,6	7,1		
Затраты на ИКТ на душу населения ФО	значение	-0,385	1119,2	0,188	0,271	0,86	0,364
	t-stat	-35,4	5,3	35,4	4,9		
Доля городских жителей в общей численности населения ФО, %	значение	-0,298	598,4	0,138	0,487	0,89	0,380
	t-stat	-33,4	9,7	22,1	11,6		

Для МШДИ и ФШДИ наилучшее приближение было получено для показателя доли городских жителей в общем количестве населения ФО (рис.3.5).

Для ФШДИ оценка скорости волны существенно меняется в зависимости от рассматриваемой «пространственной» переменной, для МШДИ оценка скорости волны находится в диапазоне 0,257-0,385 для всех рассмотренных показателей.

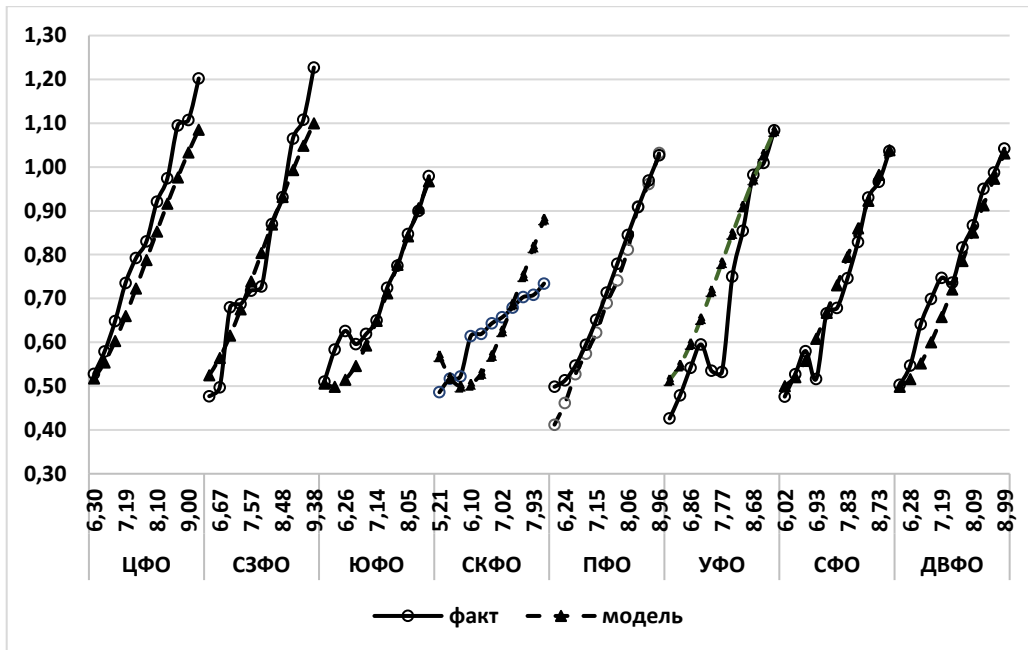


Рисунок 3.5 - Распространение МШДИ по ФО РФ с пространственной характеристикой доли городских жителей в общей численности населения ФО, %

Коэффициент инновации (p) существенно меньше для ФШДИ относительно МШДИ, при этом для каждой технологии коэффициент имитации (q) больше коэффициента инновации.

3.4.1.2. Моделирование диффузии МШДИ для организаций

Преыдушие расчеты касались распространения МШДИ и ФШДИ и мобильной связи для населения ФО. В то же время большой интерес вызывают факторы, оказывающие влияние на распространение цифровых технологий на предприятиях реального сектора экономики. В современном мире компьютерные и информационные системы являются важнейшим условием эффективной работы этих предприятий. Они позволяют кардинально изменить качество управления и ускорить процесс принятия решений на всех уровнях организации, повысить прибыльность, ускорить вывод продукции на рынок [45].

Доступ ко многим возможностям цифровой экономики осуществляется через интернет. Поэтому далее были оценены параметры модели диффузии интернета в

организациях по ФО РФ за 2003-2015 гг. и за 2003-2019 гг., где в качестве «пространственных» переменных рассматривались показатели логарифма ВРП на душу населения ФО, доли затрат на ИКТ в ВРП, затраты организаций на ИКТ в расчете на 1 занятого. Полученные оценки параметров модели (3.14) диффузии интернета по ФО РФ представлены в табл. 3.7.

Таблица 3.7 - Оценки параметров диффузии интернета в организациях ФО РФ при различных пространственных переменных за два периода

Пространственная переменная	Параметр	2003-2014		2003-2019	
		значение	t-статистика	значение	t-статистика
Логарифм ВРП на душу населения	c	-0,448	-9,4	-0,437	-9,0
	D	8,904	6,4	10,889	6,2
	p	0,235	3,5	0,223	4,8
	q	0,611	5,0	0,761	4,9
	M	0,933	53,0	0,906	142,0
	R2	0,954		0,951	
	SSE	0,112		0,162	
Доля затрат на ИКТ в ВРП ФО	c	-0,112	-1,8	-0,372	-7,3
	D	998,894	1,2	50,315	1,6
	p	0,127	7,5	0,089	9,9
	q	0,218	6,5	0,211	6,1
	M	0,900		1,528	5,5
	R2	0,943		0,943	
	SSE	0,139		0,189	
Затраты организаций на ИКТ в расчете на 1 занятого	c	-0,623	-31,4	-0,621	-34,2
	D	453,023	1,5	263,034	2,0
	p	0,292	24,0	0,291	25,7
	q	0,468	5,8	0,475	6,9
	M	0,905	75,4	0,898	158,7
	R2	0,949		0,949	
	SSE	0,126		0,169	

Наилучшее приближение исходных данных диффузии интернета за оба периода было получено для пространственной характеристики логарифма ВРП ФО на душу населения (рис. 3.6)

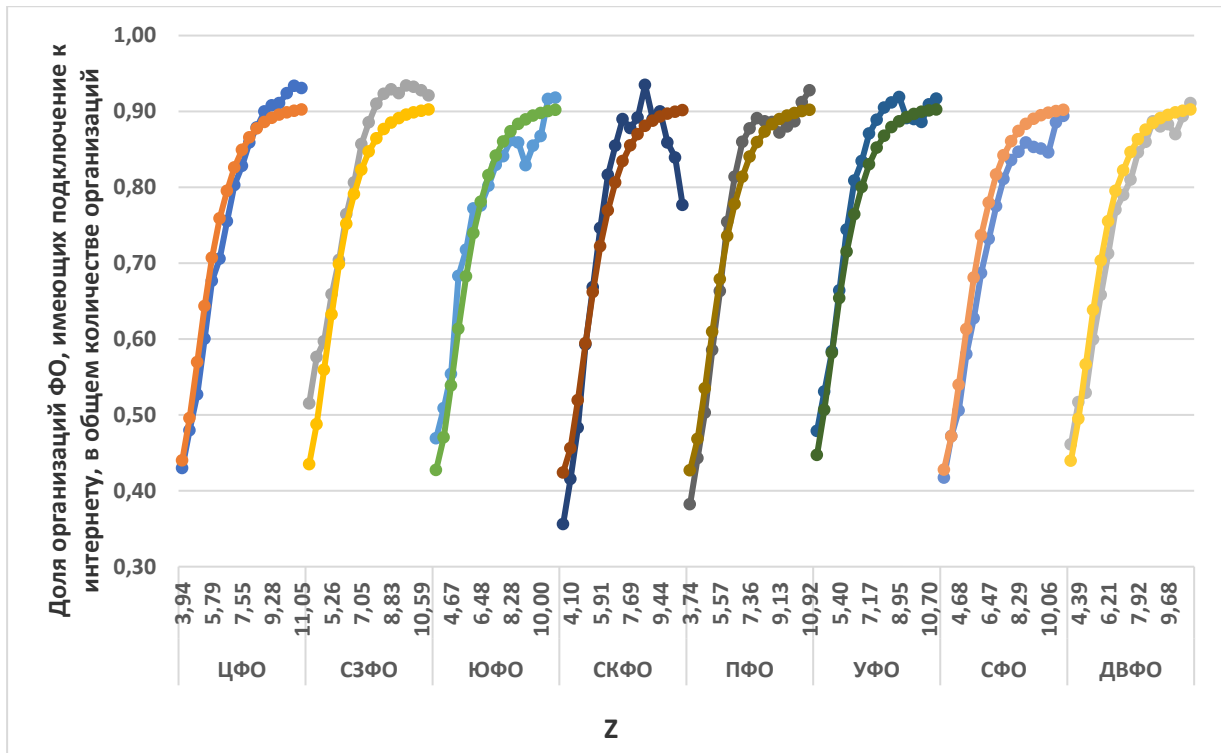


Рисунок 3.6 - Приближение распространения интернета в виде волны с «пространственной» переменной логарифма ВРП ФО на душу населения за 2003-2019 гг.

Увеличение периода расчетов привело к снижению оценок коэффициентов инновации (p) и более высоким значениям коэффициентов имитации (q) для каждого «пространственного показателя». Получены также меньшие абсолютные значения скорости волны, что связано, возможно, с достижением технологии интернета стадии насыщения. Следует отметить, что по каждой «пространственной» переменной скорость волны диффузии мобильной связи оказалась выше, чем для диффузии интернета.

3.4.1.3. Моделирование диффузии цифровых технологий в организациях

Далее была исследована диффузия других цифровых технологий в организациях ФО РФ: экстранета, интранета, распространение ШДИ, использование ERP (Enterprise Resource Planning), CRM-систем (Customer Relationship Management) и наличие у организаций web-сайта в интернете.

Инtranет — это частная корпоративная сеть для обмена информацией, упрощения связи, средств совместной работы, операционных систем и других вычислительных услуг внутри организации, обычно исключая доступ посторонних. Экстрaнет — это также частная корпоративная сеть организации, доступная только избранным пользователям, но при этом она обеспечивает безопасное и контролируемое подключение к третьим сторонам (поставщикам, клиентам и партнерам). Инtranет и экстрaнет облегчают обмен информацией и поощряют сотрудничество, предоставляя защищенные каналы связи [45].

Широкополосный доступ в интернет является одним из драйверов цифровой трансформации бизнеса. Во многих странах его распространение в организациях достигло насыщения, основным направлением развития этой технологии является повышение скорости доступа. В России в среднем доля организаций, имеющих скорость доступа в интернет не менее 2 Мбит/с, за период 2010-2022 гг. выросла в 3 раза (с 22,1% в 2010 г. до 66,7% в 2022 г.), при этом выросла также доля организаций, имеющих скорость доступа от 30 до 100 Мбит/с (с 23% в 2020 г. до 26,2% в 2021 г.), а также свыше 100 Мбит/с (с 11,3% до 12,3% соответственно). В то же время доля организаций, имевших скорость подключения к интернету более 100 Мбит/с, в 2021 г., например, в Дании превышала 80%, в Швеции, Португалии и Испании – 70-73% [18].

Наличие web-сайта в интернете позволяет организациям рекламировать свою продукцию, расширять географию поставок, находить новых партнеров и самим делать заказы. В 2021 г. более 90% организаций Финляндии, Нидерландов, Австрии и Швеции размещали на своих web-сайтах каталоги товаров, услуг, прейскуранты продукции [111]. В России этот показатель составлял 42%, а среди организаций, имевших свой web-сайт, 55,1% размещали на нем каталог своих товаров, 48,6% - сведения о вакансиях, 32,1% использовали сайт для заказа товаров или их бронирования, 22,9% - для оплаты заказанных товаров [159].

Использование ERP и CRM-систем позволяет автоматизировать процессы внутри организации. Эти системы собирают сведения о клиентах в одну базу,

позволяют планировать ресурсы, ставить задачи перед сотрудниками, формировать стратегию развития бизнеса. В 2022 г. в России ERP-системы использовали 21,9% организаций, тогда как в Дании – 67,3%, в Бельгии – 59,5%, в Швеции – 58,6%, в Финляндии – 56,9%, Испании – 54,6% [18, 111]. Таким образом, распространение цифровых технологий в организациях России происходит, но медленнее, чем в странах-лидерах, что не позволяет в полной мере воспользоваться преимуществами «цифровизации».

В данном разделе диссертации были исследованы факторы, влияющие на распространение цифровых технологий в организациях ФО, с помощью пространственно-временной модели (3.16) с волновой переменной в виде (3.15). Расчеты проведены по данным [159] за период 2010-2019 гг. Пандемия коронавируса оказала существенное влияние на использование ИКТ в организациях, многие программы цифровизации были приостановлены, а затраты на ИКТ сокращены. Поэтому показатели диффузии цифровых технологий в 2020 г. оказались существенно ниже, чем в 2019 г. [45]. В качестве пространственных переменных рассматривались следующие показатели: а) доля затрат на ИКТ в ВРП ФО, средняя за период 2010-2019 гг.; б) отношение доли занятых в ИКТ ФО в общей численности занятых к соответствующему показателю Москвы, среднее за период 2010-2019 гг.

Были оценены три вида моделей: 1 – динамическая модель Басса; 2 – пространственно-временная модель с показателем логарифма ВРП на душу населения ФО в качестве пространственной переменной; 3 - пространственно-временная модель с показателем доли затрат на ИКТ в ВРП, средняя за период 2010-2020 гг. в качестве «пространственной» переменной (табл. 3.8).

Таблица 3.8 - Оценки параметров модели Басса (2.1) и пространственно-временной модели (3.16)

Технологии	Модели	p	q	M	c*	R ²	SSE
Экстранет, 2010-2019 гг.	1	0,0002	0,447**	0,201**	нет	0,83	0,056
	2	0,158**	0,450**	0,32	0,40**	0,84	0,044
	3	0,0003**	0,227**	0,209**	0,68**	0,83	0,045

Таблица 3.8 - Продолжение

Web-сайты, 2003-2019 гг.	1	0,027**	0,124**	0,565**	нет	0,85	0,359
	2	0,187**	0,523**	0,535**	0,89**	0,89	0,234
	3	0,248**	0,391**	0,546**	0,56**	0,91	0,196
Инtranет, 2010- 2019 гг.	1	0,007*	0,101	0,743	нет	0,7	0,177
	2	0,085**	0,400	0,823*	0,20**	0,88	0,062
	3	0,183**	0,314**	0,589**	0,33**	0,82	0,084
ERP-системы, 2010-2019 гг.	1	0,001	0,283**	0,145**	нет	0,56	0,061
	2	0,058	0,691	0,248**	0,16**	0,74	0,032
	3	0,201**	0,222	0,240	0,24	0,74	0,031
CRM-системы, 2010-2019 гг.	1	0,0004	0,317**	0,139**	нет	0,72	0,037
	2	0,068	0,891	0,200**	0,25**	0,80	0,022
	3	0,203**	0,249	0,251**	0,32**	0,84	0,017

*р-значение<0.05; ** р-значение<0.01

Полученные оценки свидетельствуют о том, что использование пространственно-временной модели приводит к повышению точности оценивания по сравнению с обычными динамическими моделями (более высокий коэффициент детерминации R^2 и меньшая сумма квадратов ошибок). Наиболее высокая абсолютная скорость распространения по двум «пространственным» переменным получена для экстранета и распространения web-сайтов в организациях, самая низкая – для распространения ERP-систем.

Оценка скорости волны c по пространственным переменным дает возможность рассчитать примерную задержку в распространении цифровых технологий по ФО. Например, для показателя средней за период доли затрат на ИКТ в ВРП ФО, с помощью которой было получено наилучшее приближение, были рассчитаны временные интервалы отставания федеральных округов от показателей ЦФО (табл. 3.9).

Следует отметить, что в последние годы в связи с пандемией коронавируса и введенными против России санкциями распространение цифровых технологий в организациях замедлилось.

Таблица 3.9 - Количество лет, через которое показатели распространения цифровых технологий достигнут показателей ЦФО

Округ	Средняя за период «пространственная» характеристика	Экстранет	Веб-сайт	Инtranет	CRM-системы	ERP-системы
ЦФО	2,325	0	0	0	0	0
СЗФО	1,352	1,44	1,73	2,91	3,00	4,05
ЮФО	1,178	1,70	2,04	3,43	3,54	4,77
СКФО	0,679	2,44	2,92	4,92	5,08	6,85
ПФО	1,294	1,53	1,83	3,08	3,18	4,29
УФО	1,228	1,62	1,95	3,28	3,39	4,56
СФО	1,264	1,57	1,88	3,17	3,28	4,41
ДВФО	1,039	1,90	2,28	3,85	3,97	5,35
Скорость волны		0,68	0,56	0,33	0,32	0,24

3.4.2. Пространственно-временные модели диффузии ИКТ по странам одного региона

Влияние экономических факторов на процессы диффузии новых технологий было рассмотрено также на примере стран одного региона – 9 стран Азии (Монголия, Таиланд, Индия, Малайзия, Китай, Сингапур, Япония, Южная Корея, Вьетнам). На рис.3.7 представлено, как в этом регионе протекал процесс диффузии мобильной связи в период 1990-2015 гг., на рис. 3.8 – фиксированного широкополосного доступа в интернет (1998-2021 гг.).

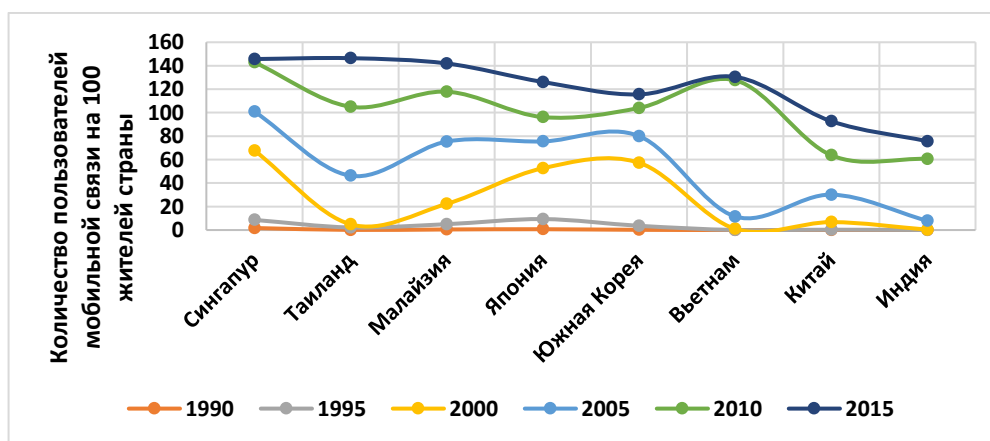


Рисунок 3.7 - Распространение мобильной связи по странам Азиатско-

Тихоокеанского региона (АТР)

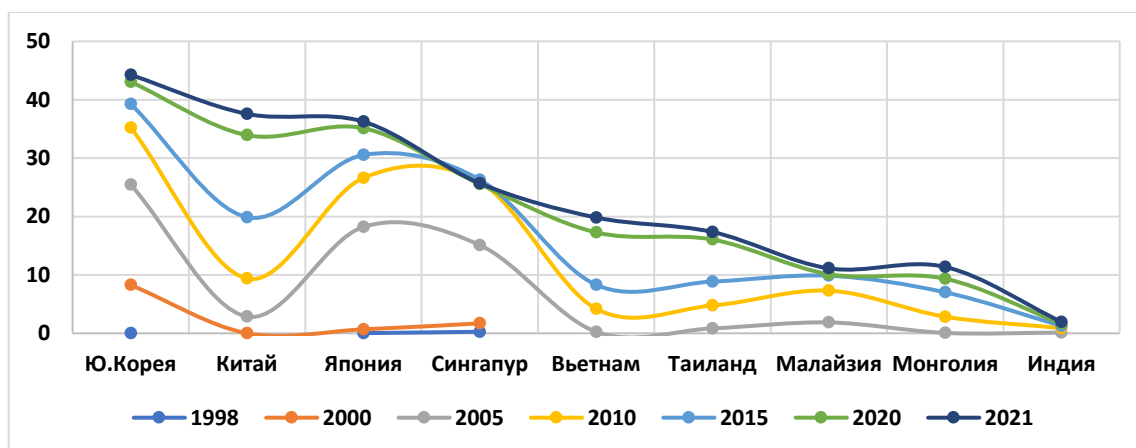


Рисунок 3.8 - Распространение фиксированного широкополосного доступа в интернет по 9 странам АТР

Рассматриваемые страны существенно различаются по уровню развития телекоммуникационной инфраструктуры. Если Южная Корея занимала в 2017 г. второе место в мире по индексу развития ИКТ (ICT Development Index – IDI [160]), Япония - десятое, то Вьетнам – 108-е, Индия – 134-е. Однако в последнее время быстро растет цифровизация этих стран. Так, во Вьетнаме доля пользователей интернета выросла за период 2000-2021 гг. более чем в 290 раз (с 0,25% в 2000 г. до 74,2% в 2021 г.), в Индии – в 87,8 раз, в Монголии – в 67,2 раза. Если в 2015 г. отношение максимальной доли пользователей интернета к минимальной среди этих 9 стран было более чем 6-кратным (Япония – 91,1%, Индия – 14,6%), то в 2021 г. оно сократилось до 2,1 раза (Южная Корея – 97,6%, Индия – 46,3%).

За последние 15 лет рост торговли цифровыми услугами в странах АТР рос быстрее, чем в остальном мире. В большинстве из них доля экспорта ИКТ-товаров составляет большую часть общего экспорта товаров. Например, в 2020 г. во Вьетнаме на ИКТ-товары приходилось более 38%, в Малайзии – более 34%, в Сингапуре – более 33% общего экспорта товаров. Только в Индии и Монголии экспорт ИКТ-товаров был незначителен. В то же время среди рассматриваемых стран в Индии самая высокая доля экспорта ИКТ-услуг в общем объеме экспорта

услуг (46,8% в 2022 г. [89]). Доля этих 9 стран в общемировом экспорте услуг выросла с 13,1% в 2005 г. до 23,6% в 2021 г. [161].

Это свидетельствует о том, что выбранные страны характеризуются близким географическим положением, интенсивностью взаимной торговли, особым вниманием государства, уделяемым цифровой экономике.

3.4.2.1. Сопоставление пространственно-временных моделей диффузии цифровых технологий с общей «пространственной характеристикой»

Как и ранее, оценка пространственно-временных моделей осуществлялась в два этапа. Сначала были получены оценки параметров модели Басса для этой выборки стран без учета пространственной диффузии по панельным данным и по средним за период показателям распространения ИКТ. Результаты оценки представлены в табл. 3.10. Данные по распространению технологий охватывают следующие периоды: фиксированная телефонная связь – за период 1985-2021 гг., мобильная связь – за 1985-2021 гг., интернет – 1990-2021 гг., фиксированный широкополосный доступ в интернет – 1998-2021 гг., мобильный доступ в интернет – 2007-2021 гг.

Таблица 3.10 - Оценка параметров модели Басса для 9 стран Азии

Оцениваемые технологии		Оценки по полной выборке стран					Оценки по средним за период значениям				
		M	p	q	R ²	SSE	M	p	q	R ²	SSE
Фиксированная связь	параметр	0,23	0,04	0,19			0,25	0,054	0,017		
	t-стат.	13,5	0,4	0,6	0,03	9,9	12,2	0,6	0,13	0,84	0,03
Мобильная связь	параметр	1,39	0,001	0,18			1,40	0,0001	0,26		
	t-стат.	31,4	2,4	10,9	0,84	15,0	74,9	4,0	28,6	0,997	0,03

Таблица 3.10 - Продолжение

Интернет	параметр	0,90	0,003	0,15			0,82	0,0004	0,173		
	t-стат.	5,6	1,9	4,0	0,55	12,9	12,9	2,0	8,2	0,97	0,07
Фиксированный широкополосный доступ в интернет	параметр	0,24	0,0004	0,18			0,25	0,0004	0,20		
	t-стат.	4,0	0,7	2,3	0,23	2,4	19,4	2,1	11,0	0,98	0,002
Мобильный доступ в интернет	параметр	1,62	0,001	0,20			2,07	0,0004	0,15		
	t-стат.	2,2	0,4	1,8	0,30	21,6	3,3	1,2	4,8	0,97	0,03

Для исследуемой группы стран получен низкий коэффициент инноваций (p) для каждого способа оценки модели Басса. При этом рыночный потенциал всех технологий (кроме распространения интернета) оказался выше для расчетов по усредненным значениям.

Далее приближенное решение волнового уравнения (3.14) было использовано для оценки параметров пространственно-временной модели диффузии ИКТ (интернета, мобильной и фиксированной телефонной связи, фиксированного и широкополосного доступа в интернет) по 9 странам Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), где в качестве «пространственной» переменной рассматривался показатель логарифма ВВП на душу населения стран в постоянных ценах 2017 г. Результаты оценивания параметров (табл.3.11) показали, что, как и в случае диффузии ИКТ по округам Российской Федерации, распространение волны описывается соотношением $x+ct$ для всех технологий. Полученные суммы квадратов ошибок оказались меньше, чем для обычного диффузионного уравнения по полной выборке стран.

По 9 странам АТР самая высокая по модулю скорость распространения технологии относительно показателя логарифма ВВП на душу населения была

получена для мобильной связи (0,288). Это означает, что для этой технологии быстрее преодолевался разрыв между странами региона с разным уровнем дохода. В то же время технология мобильного доступа в интернет имеет меньшую по модулю скорость распространения среди всех рассмотренных технологий, что может быть связано с отсутствием данных за более ранний период, а также с большими требованиями по развитию инфраструктуры ИКТ.

Таблица 3.11 - Оценка параметров волнового уравнения (3.14) для стран Азии с логарифмом ВВП на душу населения по ППС в ценах 2017 г. в качестве «пространственной» характеристики

Параметр	Интернет		Мобильная телефонная связь		Мобильный широкополосный доступ в интернет		Фиксированный широкополосный доступ в интернет		Фиксированная телефонная связь	
	значение	t-статистика	значение	t-статистика	значение	t-статистика	значение	t-статистика	значение	t-статистика
p	0,126	28,9	0,182	46,7	0,083	6,1	0,110	19,9	0,077	7,5
q	0,118	7,0	0,202	10,4	0,688	3,5	0,170	3,5	0,068	5,1
M	0,472	21,8	0,930	18,1	0,908	8,0	0,410	10,0	0,110	11,4
D	1,047	11,2	2,985	26,5	3,343	10,7	0,096	6,2	0,038	13,4
c	-0,247	-85,0	-0,288	-87,8	-0,179	-10,9	-0,219	-32,6	0,209	13,9
Количество наблюдений	265		275		116		196		288	
R ²	0,87		0,92		0,83		0,65		0,75	
SSE	3,69		6,94		5,24		1,08		2,45	

3.4.2.2. Моделирование распространения мобильной связи

Как и для регионов России, для 9 стран АТР более подробно проведено исследование распространения мобильной связи за период 1985-2021 гг.

Главными полюсами роста и распространения ИКТ в этом регионе являются Сингапур и Южная Корея. Сингапур одним из первых еще в 1980-х гг. разработал стратегию развития сферы ИКТ. Страна уделяет особое внимание развитию IT-технологий за счет привлечения международного инновационного бизнеса и развития собственного, создания наиболее благоприятных условий для ведения предпринимательской деятельности. Благоприятное местоположение Сингапура в центре Юго-Восточной Азии способствует превращению его в важный мировой центр торговли и финансов, а также ведущий в АТР информационно-коммуникационный центр. В связи с этим важнейшей задачей в стране является развитие передовой высокоскоростной инфраструктуры связи. В настоящее время Сингапур занимает 1-е место в мире по максимальной скорости загрузки и выгрузки фиксированного широкополосного доступа в интернет (237,15 Мбит/с и 199,58 на начало 2023 г. соответственно¹⁹), 95% его территории покрывает сеть высокоскоростного интернета (1 Гб/с). Основным поставщиком телекоммуникационных услуг в стране является компания Singtel, имеющая представительства в 8 странах Азии. Количество абонентов компании в 2022 г. превысило 770 млн человек, включая пользователей Сингапура, Австралии, Малайзии, Индии, Филиппин и других стран [162].

Южная Корея занимает первое место в мире по скорости загрузки 5G (в 2022 г. – 432,7 Мбит/с). Высокоразвитая цифровая инфраструктура Южной Кореи является результатом разработанных правительством программ,

¹⁹ Speedtest Global Index. URL: <https://www.speedtest.net/global-index/singapore> (дата обращения: 26.03.2023)

направленных на общенациональное внедрение широкополосного Интернета, в том числе технологий широкополосной беспроводной связи. Сингапур, несмотря на проблемы с выделением спектра для сетей 5G, занимал в 2022 г. 11-е место по скорости этой технологии (246,1 Мбит/с) [163].

Все это обусловило выбор «пространственных» характеристик процесса диффузии ИКТ в этом регионе. В диссертации были рассмотрены такие показатели, как:

логарифм ВВП на душу населения по ППС в тыс. долл., в постоянных ценах 2017 г., средний за период;

отношение ВВП на душу населения страны к ВВП на душу населения Сингапура;

доля НИОКР в ВВП (отношение затрат на НИОКР к ВВП страны);

отношение доли НИОКР в ВВП страны к соответствующему показателю Южной Кореи;

логарифм плотности населения (тыс. человек на м²), средние за период распространения технологий;

логарифм расстояния между столицей страны и Сингапуром;

доля чистого притока прямых иностранных инвестиций (ПИИ) в ВВП, %.

В некоторых работах (см, например [164]) показано наличие двунаправленной причинно-следственной связи между ИКТ и ПИИ в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, которая подразумевает, что увеличение иностранных инвестиций приводит к увеличению инфраструктуры ИКТ, а с увеличением инфраструктуры ИКТ происходит рост ПИИ, что содействует устойчивому экономическому развитию в странах этого региона.

Кроме того, в качестве «пространственной» переменной были рассмотрены индекс развития телекоммуникационной инфраструктуры в стране (ТИ) и индекс развития человеческого капитала (НС). Результаты оценки моделей приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12 - Оценки параметров уравнения (3.14) распространения мобильной связи с различными «пространственными» переменными (M=1,39)

«Пространственные» переменные		p	q	c	R ²	SSE	Количество наблюдений
Логарифм ВВП на душу населения, средний за период	параметр	0,185	0,218	-0,305	0,93	6,46	297
	t-стат.	27,3	11,9	-93,3			
Отношение ВВП на душу населения страны к ВВП на душу населения Сингапура	параметр	0,243	0,264	-0,138	0,88	10,7	283
	t-стат.	61,1	16,8	-98,9			
Отношение затрат на НИОКР к ВВП страны	параметр	0,208	0,402	-0,440	0,80	9,79	193
	t-стат.	23,2	7,5	-38,5			
Отношение доли затрат на НИОКР в стране к доле затрат на НИОКР Южной Кореи	параметр	0,204	0,476	-0,188	0,80	9,55	193
	t-стат.	27,0	9,1	-40,1			
Логарифм плотности населения страны на км ²	параметр	0,0001	0,190	-1,31	0,86	12,4	288
	t-стат.	2,9	11,0	-6,9			
Логарифм доли чистого притока ПИИ в ВВП, %	параметр	0,0001	0,051	-5,185	0,86	13,6	297
	t-стат.	2,8	5,2	-5,4			

Таблица 3.12 - Продолжение

Логарифм расстояния от столицы страны до Сингапура	параметр	0,141	0,007	0,395	0,85	12,4	263
	t-стат.	72,9	21,1	45,9			
Индекс развития телекоммуника ционной инфраструктур ы	параметр	0,209	0,44	-0,306	0,76	9,6	180
	t-стат.	19,3	7,0	-34,1			
Индекс развития человеческого капитала	параметр	0,0001	0,187	-1,23	0,67	11,7	180
	t-стат.	1,5	9,2	-3,9			

Значения некоторых показателей, рассматриваемых в качестве «пространственных» переменных, известны не за весь период времени распространения технологий, поэтому количество наблюдений различно, и получены разные суммы квадратов остатков для моделей. Но наибольший коэффициент детерминации по 9 странам получен в модели, где в качестве «пространственной» переменной использовался показатель логарифма ВВП на душу населения страны в постоянных ценах 2017 г. ($R^2=0.93$)

Только для показателя логарифма расстояния между столицей страны и Сингапуром получено положительное значение скорости волны, для всех остальных показателей - отрицательное. В случае, когда верхний предел распространения технологии мобильной связи не был задан напрямую, он оказался близким для всех «пространственных» переменных, кроме доли чистого притока ПИИ в ВВП (1,443...1,97). Для логарифма доли чистого притока ПИИ в ВВП получена максимальная по модулю скорость волны.

Сравнение реальных и расчетных значений диффузии мобильной связи по выбранным странам свидетельствует о близком соответствии этих значений. Лишь для Вьетнама (недооценка по модели), Индии и Японии

(переоценка по модели) в 1985-2008 гг. наблюдалось некоторое расхождение между реальными данными и расчетными значениями распространения мобильной связи по пространственно-временной модели со средним значением логарифма ВВП на душу населения в качестве «пространственной» характеристики (рис. 3.9).

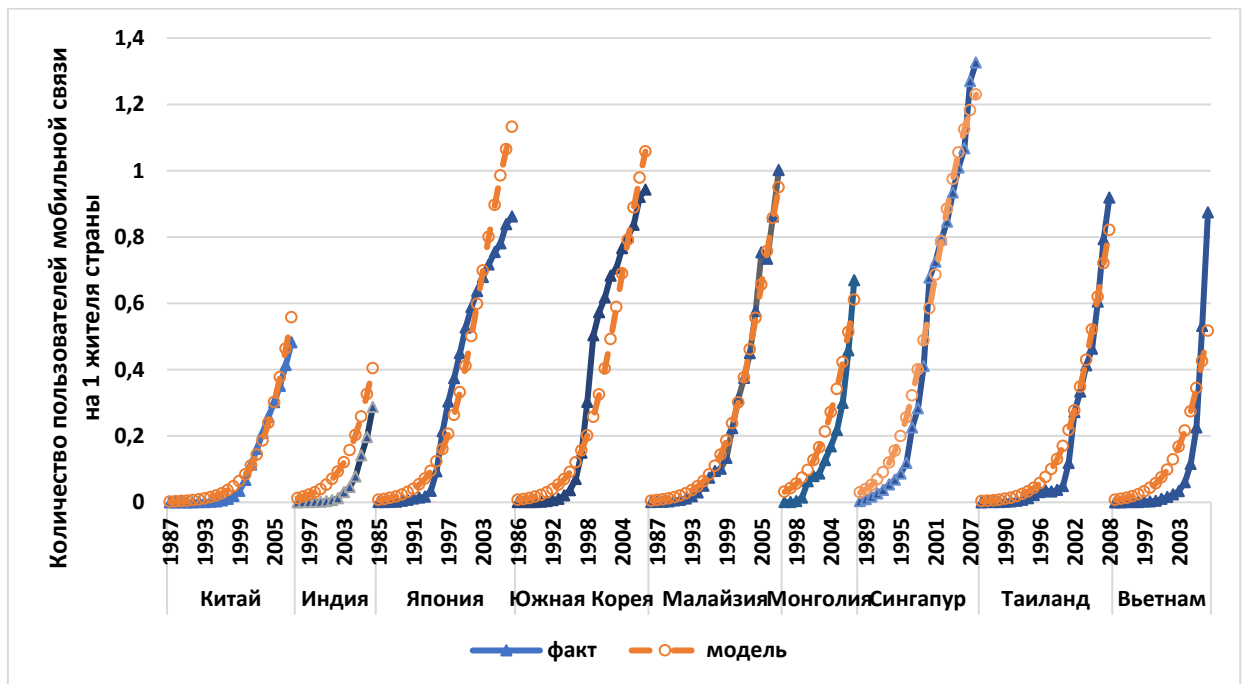


Рисунок 3.9 - Фактические и расчетные значения уровня распространения мобильной связи по 9 странам Азии за 1985-2008 гг. со средним значением логарифма ВВП на душу населения в качестве «пространственной» переменной за рассматриваемый период

Результаты моделирования пространственной диффузии других ИКТ (интернета, фиксированного и мобильного доступа к интернету, фиксированной телефонной связи) по логарифму ВВП на душу населения в качестве «пространственной» переменной показывают, что наибольшее расхождение между реальными данными и оценками по пространственно-временной модели наблюдается для стран с наименьшим уровнем удельных доходов (Индия, Монголия). Это свидетельствует об искажении фронта волны для этих стран.

В результате моделирования выявлено, что наибольшее абсолютное значение скорости c бегущей волны с логарифмом ВВП на душу населения в качестве «пространственной» переменной было получено для распространения мобильной телефонной связи. Для фиксированной телефонной связи оценка параметра скорости волны оказалась положительной, что, вероятно, соответствует стадии спада жизненного цикла этой технологии и вытеснения ее с рынка ($c=0.023$).

Результаты показывают, что распространение интернета в Малайзии опережает темпы, соответствующие развитию ее телекоммуникационной инфраструктуры, тогда как в Монголии, наоборот, значительно отстает.

3.4.2.3. Моделирование диффузии фиксированного широкополосного доступа в интернет

Необходимо отметить, что на развивающихся рынках АТР (например, во Вьетнаме и Индии), в период 2017-2021 гг. наблюдался самый сильный рост числа абонентов фиксированной широкополосной связи (на 65,5% и 48,5% соответственно). При этом на рынке лидировали оптоволоконные технологии с интенсивной инфраструктурой и развертыванием по всему региону. Их доля в общем количестве подписок на технологии фиксированной широкополосной связи выросли с 21,4% в 2012 г. до 84,1% в 2022 г. По состоянию на конец 2022 г. услуги фиксированной широкополосной связи в регионе имели умеренную стоимость, при этом средний уровень доступности составлял 1,1% [165].

Тем не менее, по уровню распространения фиксированного широкополосного доступа в интернет страны АТР уступали странам Европы и Америки. И внутри региона также наблюдались большие различия по распространению технологии. В странах с более слабым регулированием в содействии развитию бизнеса отмечается более низкий уровень проникновения фиксированной широкополосной связи, и наоборот.

Поэтому наилучшее приближение распространения технологии фиксированной широкополосной связи было получено для показателя доли затрат на НИОКР в ВВП страны в качестве «пространственной» переменной (табл. 3.13).

Таблица 3.13 - Оценки параметров уравнения (3.14) распространения широкополосного доступа в интернет с различными «пространственными» переменными ($M=0,42$)

«Пространственные» переменные		p	q	c	R ²	SSE	Количество наблюдений
Логарифм ВВП на душу населения	параметр	0,0003	0,350	-0,096	0,56	1,35	196
	t-стат.	2,4	8,8	-5,6			
Отношение ВВП на душу населения страны к ВВП на душу населения Сингапура	параметр	0,0002	0,737	-0,059	0,55	1,27	186
	t-стат.	2,9	8,0	-90,5			
Отношение затрат на НИОКР к ВВП страны	параметр	0,001	0,226	-0,088	0,77	0,60	162
	t-стат.	4,3	11,7	-5,8			
Логарифм расстояния от столицы страны до Сингапура	параметр	0,166	0,175	-0,29	0,36	1,77	172
	t-стат.	15,7	2,8	-25,2			
Логарифм доли чистого притока ПИИ в ВВП, %	параметр	0,083	0,003	0,236	0,41	1,63	172
	t-стат.	22,9	5,7	12,3			
Логарифм плотности населения страны на км ²	параметр	0,0001	0,498	-0,103	0,36	1,61	164
	t-стат.	0,8	4,5	-3,7			

При моделировании распространения широкополосного доступа в интернет по 9 странам были получены низкие коэффициенты инновации (p) для всех рассмотренных «пространственных» показателей, кроме логарифма расстояния от столицы страны до Сингапура.

Скорость волны оказалась положительной для логарифма чистого притока ПИИ в ВВП, что связано с более высоким средним значением этого показателя для таких стран как Монголия, Вьетнам, Малайзия и низким – для Японии и Южной Кореи.

3.4.2.4. Моделирование диффузии фиксированного широкополосного доступа в интернет в зависимости от уровня развития телекоммуникационной инфраструктуры

Моделирование влияния развития цифровой инфраструктуры на скорость распространения широкополосного доступа в интернет (с) было проведено также с учетом индекса развития электронного правительства в 9 странах Азии, а также его составных частей – индексов развития телекоммуникационной инфраструктуры и человеческого капитала [166]. Результаты моделирования по (3.14) с этими индексами в качестве «пространственных» переменных, представлены в табл. 3.14. Индексы рассчитывались ООН с 2003 г., поэтому их влияние оценивалось за соответствующий период. Показатель максимальной доли рынка распространения технологии задавался вручную, оценивались только 4 параметра модели.

Таблица 3.14 - Оценка параметров волнового уравнения распространения фиксированного широкополосного доступа в интернет (3.14) для стран Азии за период 2003-2021 гг.

Факторы		p	q	M	c	D	R ²	SSE
Индекс развития электронного правительства	параметр	0,023	0,008	2,25	-0,123	0,001	0,834	0,456
	t-стат.	3,3	2,2		-7,1	3,1		

Таблица 3.14 - Продолжение

Индекс телекоммуникационной инфраструктуры	параметр	0,031	0,013	0,70	0,163	0,0002	0,81	0,522
	t-стат.	3,6	2,0		7,0	4,0		
Индекс человеческого капитала	параметр	0,074	0,387	0,60	-0,166	0,007	0,62	1,046
	t-стат.	16,7	9,5		-27,6	14,3		

В результате моделирования выявлено, что наибольшее влияние с точки зрения точности приближения исходных данных оказывают индексы развития электронного правительства и телекоммуникационной инфраструктуры.

3.4.2.5. Моделирование влияния географического расстояния в качестве «пространственной» переменной

Для оценки влияния географического фактора на распространение ИКТ в странах Азиатского региона был рассмотрен показатель расстояния между Сингапуром и 8-ью остальными странами (в тыс. км). Полученные оценки параметров модели с «пространственной» переменной в виде расстояния между странами (табл. 3.15) оказались значимыми, но точность приближения исходных данных уступает показателям других «пространственных» переменных.

Можно сделать вывод о том, что распространение ИКТ в меньшей степени зависит от географической удаленности от «полюса роста». Проведенный количественный анализ показал, что наблюдается зависимость скорости распространения ИКТ от социально-экономических региональных факторов, что согласуется с объяснением диффузии в виде бегущей волны.

Таблица 3.15 - Оценка параметров волнового уравнения (3.14) для 8 стран Азии (без Сингапура) с учетом расстояния между странами в качестве «пространственной» характеристики

Параметр	Интернет	Фиксированная телефонная связь	Мобильная телефонная связь	Фиксированный широкополосный доступ в интернет	Мобильный широкополосный доступ в интернет
p	0,163	0,042**	0,22**	0,132**	0,053**
q	0,036	0,053**	0,15**	0,198**	0,158**
M	1,41	0,700	1,71**	0,450	0,900
D	10,71*	0,024**	34284	1,321**	0,053**
c	-1,264**	-0,073**	-0,34**	-0,237**	-0,034**
R ²	0,54	0,56	0,84	0,48	0,16
SSE	10,27	4,09	10,19	1,38	25,8
Количество наблюдений	204	259	227	153	116

*p-значение<0.05; **p-значение<0.01

Региональные кривые распространения технологий имеют разные формы, что, по всей вероятности, объясняется неоднородностью экономического развития и условий, определяющих оптимальное время принятия технологии. Для стран с более низким уровнем доходов населения капитальные затраты на новую технологию представляют значительное инвестиционное бремя, поэтому, несмотря на знание о технологии, ее внедрение может происходить с задержкой, зависящей от уровня экономического развития как отдельной страны, так и региона в целом.

3.4.3. Пространственно-временные модели диффузии ИКТ для стран с разным уровнем доходов на душу населения

Аналогичное исследование было проведено для групп стран с разным уровнем доходов на душу населения по классификации World Bank. В этом случае в качестве «пространственной» характеристики процесса диффузии ИКТ (x) в выражении для волновой переменной: $z=x-c(t-t_0)$ была выбрана величина логарифма ВВП на душу населения группы стран, млн долл., в постоянных ценах 2017 г.

Были рассмотрены следующие группы стран по классификации World Bank: страны с высоким уровнем доходов (НИС, страны с доходом 13,205 тыс. долл. и более – страны Западной Европы, США, Австралия, Новая Зеландия, Япония, Южная Корея и др.), страны с доходом выше среднего (УМС – страны с доходом от 4,256 до 13,205 тыс. долл., в т.ч. Россия, Беларусь, Китай, Армения, Азербайджан и др.), страны со средним уровнем доходов (МС), страны с уровнем доходов ниже среднего (ЛМС – от 1,086 до 4,255 тыс. долл., в т.ч. Вьетнам, Индия, Таджикистан, Киргизия и др.), и страны с низким уровнем доходов (ЛИС – с доходом в 1,085 тыс. долл. и менее, в т.ч. Афганистан, Сирия, Судан и др.).

3.4.3.1. Моделирование распространения ИКТ в зависимости от логарифма ВВП на душу населения

Для исследования пространственно-временных моделей диффузии для групп стран с разным уровнем доходов населения были рассмотрены технологии ФШДИ и МШДИ, распространение интернета, фиксированной и мобильной телефонной связи.

Результаты оценки волнового уравнения (3.14) представлены в табл.3.16.

Таблица 3.16 - Оценки параметров волнового уравнения с «пространственной» характеристикой в виде логарифма ВВП на душу населения, млн долл., в постоянных ценах 2017 г., среднего за период

Параметр	Интернет, 1990-2021 гг.	Мобильная связь, 1980-2021 гг.	Мобильный широкополосный доступ в интернет, 2015-2022 гг.	Фиксированный широкополосный доступ в интернет, 2000-2021 гг.	Фиксированная телефонная связь, 1980-2021 гг.
с	-0,241*	-0,268*	-0,194*	-0,222*	-0,164*
р	0,119*	0,156*	0,069*	0,106*	0,050*

Таблица 3.16 - Продолжение

q	0,115*	0,171*	0,529*	0,129*	0,033*
M	1,885*	1,869*	1,737*	0,89*	0,810*
R ²	0,97	0,96	0,98	0,94	0,93
Количество наблюдений	151	183	40	101	209
SSE	0,316	1,32	0,10	0,065	0,37

*p-значение <0,01

Наибольшая абсолютная скорость волны получена для диффузии мобильной связи (-0,268), что свидетельствует о более быстром темпе распространения технологии. Наименьшее значение c (-0,164) получено для фиксированной телефонной связи. Расчет времени задержки распространения технологий относительно высокоразвитых стран представлен в табл. 3.17.

Таблица 3.17 - Рассчитанное время отставания групп стран от показателей распространения ИКТ для высокоразвитых стран, лет

Группа стран	Логарифм ВВП на душу населения, среднее значение за период	Время отставания от стран с высоким уровнем доходов населения, лет				
		Интернет	Мобильная связь	Мобильный широкополосный доступ в интернет	Фиксированный широкополосный доступ в интернет	Фиксированная телефонная связь
Скорость волны		-0,241	-0,268	-0,194	-0,222	-0,164
НИС	3,715	0	0	0	0	0
ЛИС	0,484	13,41	12,06	16,65	14,55	19,70
ЛМС	1,526	9,08	8,17	11,28	9,86	13,35
МИС	1,935	7,39	6,64	9,18	8,02	10,85
УМС	2,273	5,98	5,38	7,43	6,50	8,79

Действительно, если мобильная телефонная связь в странах группы НИС начала распространение в 1980 г., то в странах с низким уровнем доходов населения (LIC) – только в 1992 г., в странах с уровнем доходов ниже среднего – в 1987 г., в странах со средним уровнем доходов – в 1986 г., в странах с уровнем доходов выше среднего – в 1985 г. Уровень распространения интернета в 1% в странах НИС был достигнут в 1993 г., в странах LIC – в 2006 г., в странах LMC – в 2002 г., в странах MIC – в 2000 г., в странах UMC – в 1999 г.

Согласно расчетам, достигнутое в 2015 г. в странах НИС распространение мобильного широкополосного доступа в интернет на уровне 100% в странах LIC будет достигнуто в 2031-2032 гг., в странах LMC – в 2026-2027 гг., в странах MIC – в 2024 г., в странах UMC – в 2022 г. (для этой группы стран прогноз оправдался, уровень распространения этой технологии для стран с доходами населения выше среднего в 2022 г. составил 104,2%, а в 2021 г. – 96,8% [167]).

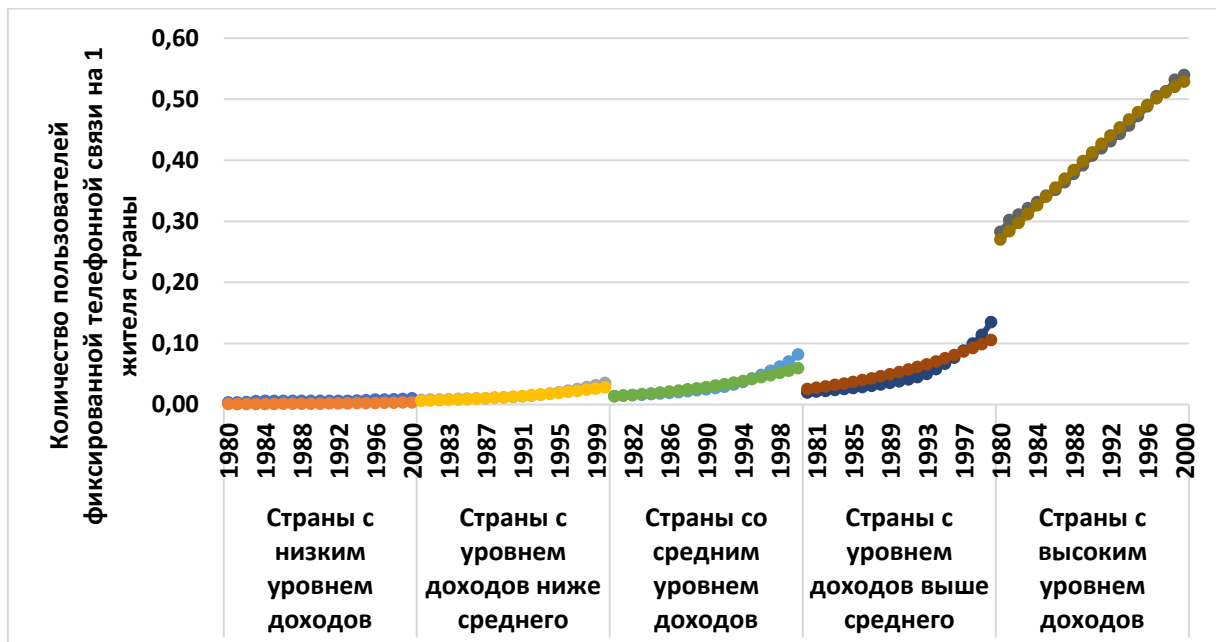


Рисунок 3.10 - Приближение в виде бегущей волны диффузии фиксированной телефонной связи в зависимости от логарифма ВВП на душу населения в качестве «пространственной» характеристики для групп стран с разным уровнем доходов, 1980-2000 гг.

Для фиксированной телефонной связи были оценены параметры волнового уравнения за период 1980-2000 гг., что соответствует стадии роста этой технологии. Фактические и расчетные значения распространения этой технологии для стран с разным уровнем дохода представлены на рис. 3.10. На стадии роста технологии получена отрицательная и минимальная по модулю среди всех ИКТ оценка скорости волны (-0,04).

3.4.3.2. Моделирование распространения интернета в зависимости от социально-экономических показателей в качестве «пространственных» переменных

Диффузия интернета по группам стран с разным уровнем доходов населения была исследована с помощью нескольких социально-экономических показателей в качестве «пространственных» переменных. Помимо показателя логарифма ВВП на душу населения по ППС, были рассмотрены следующие: доля городских жителей, логарифм ПИИ, доля безработных в общей численности населения, логарифм плотности населения на 1 кв. м, доля экспорта высокотехнологичных товаров и услуг в ВВП. Результаты оценки представлены в табл. 3.18.

Наиболее точная зависимость среди рассмотренных показателей была получена для доли городских жителей в качестве «пространственной» переменной. Высокая доля городских жителей в населении страны характерна для стран с высокими доходами населения.

Таблица 3.18 - Моделирование распространения интернета в странах с разным уровнем доходов населения в зависимости от социально-экономических факторов в качестве «пространственных» переменных за 1990-2021 гг.

Параметры	Доля городских жителей	Логарифм ППИ	Доля безработных	Доля экспорта высокотехнологичных товаров и услуг в ВВП, %	Логарифм плотности населения на 1 кв. км
p	0,100*	0,089*	0,160*	0,132*	0,138*
q	0,097*	0,073*	0,003	0,208*	0,127*
M	2,050*	1,920*	0,279	1,045*	1,922*
c	-1,94*	-0,136*	0,497*	-1,068*	-0,259*
R ²	0,97	0,85	0,760	0,734	0,727
SSE	0,319	1,44	7,314	2,59	9,130
Количество наблюдений	146	146	154	135	146

*p-значение <0,01

В странах, где доля городского населения меньше, распространение ИКТ, в том числе интернета, требует больших удельных расходов на создание необходимой инфраструктуры, что замедляет скорость распространения технологий.

На рис. 3.11 представлено расчетное и фактическое значения количества пользователей интернета в расчете на 1 жителя страны, где в качестве «пространственной» переменной выступает отношение ВВП на душу населения рассмотренных групп стран, к соответствующему показателю стран с высоким уровнем доходов населения, среднее за период распространения интернета (1990-2015 гг.).

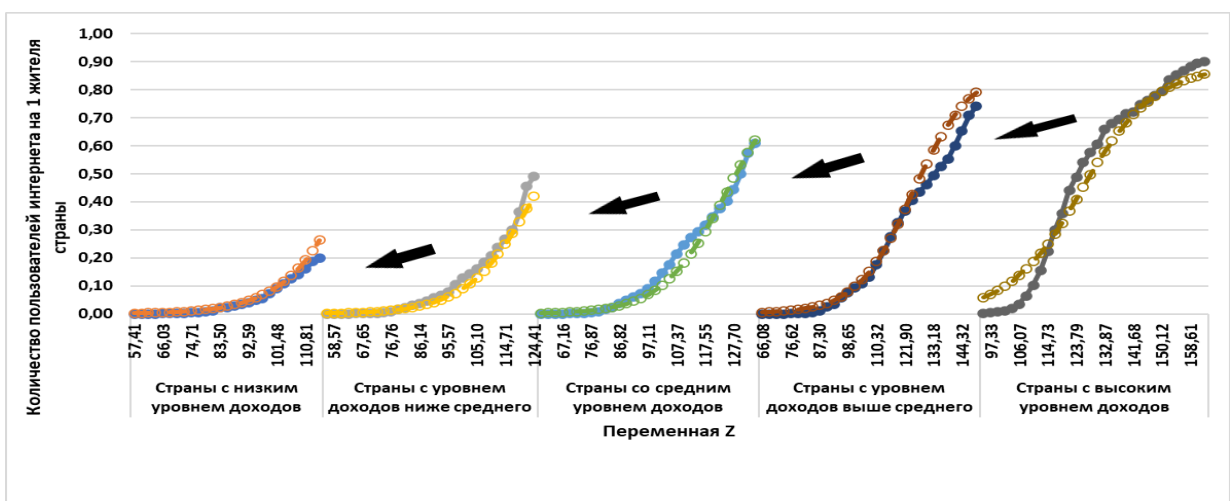


Рисунок 3.11 - Приближение в виде бегущей волны распространения интернета по странам с различным уровнем доходов населения

Результаты показывают отставание распространения интернета для группы стран с низким уровнем доходов населения от рассчитанных показателей, что свидетельствует о замедлении скорости бегущей волны для этих стран в связи с влиянием других факторов (отсутствием технологической базы, недостаточностью средств, бюджетным дефицитом, нехваткой квалифицированных кадров).

На рис. 3.12 показано фактическое и расчетное значение распространения интернета по группам стран по годам.

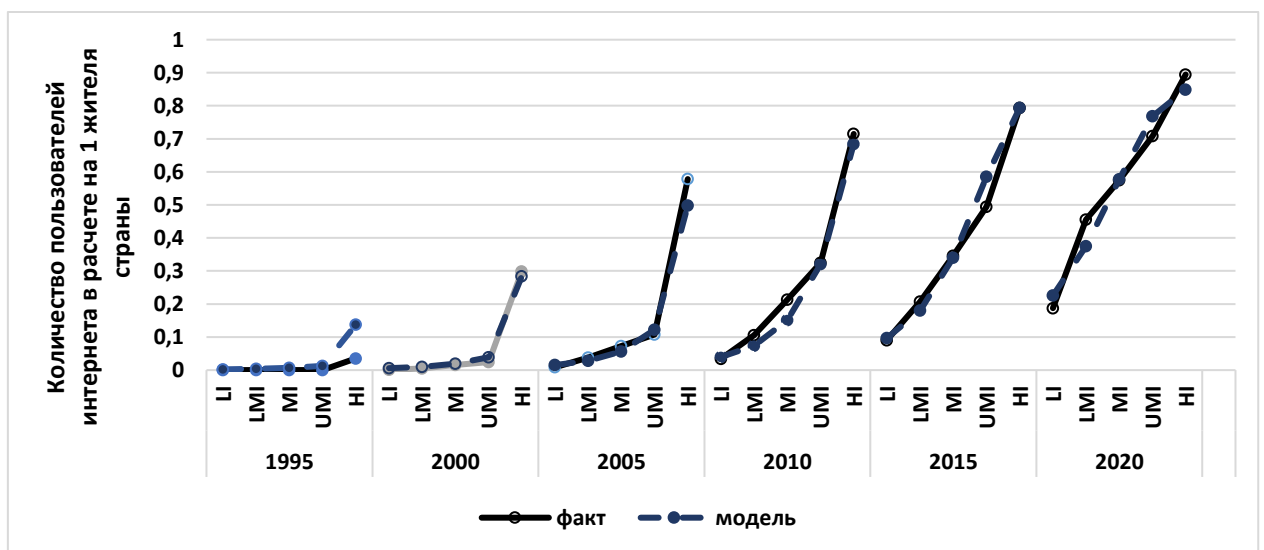


Рисунок 3.12 - Фактические и расчетные значения распространения интернета по группам стран по годам, 1995-2020 гг.

Следует учитывать то, что волновые решения неустойчивы с увеличением временного интервала процесса диффузии [3].

3.5. Решение волнового уравнения специального вида и его применение для моделирования диффузии ИКТ

В работах разных авторов предлагались различные способы нахождения решений волнового уравнения (3.2). В частности, в работе [131] было предложено искать решение волнового уравнения

$$\frac{d^2W}{dz^2} = c \frac{dW}{dz} + W(1 - W^q)$$

в виде:

$$W(z) = \frac{1}{(1 + ae^{bz})^s}, \text{ где } z=(x-ct) \quad (3.18)$$

Этот вид решения при определенных соотношениях параметров удовлетворяет волновому уравнению, а также имеет похожую форму с решением, полученным В.М. Полтеровичем и Г.М. Хенкиным [151] (3.4). Оно было применено в данном исследовании для описания диффузии интернета стран с различным уровнем доходов населения в предположении, что кинетика волнового процесса описывается логистической функцией. Расчеты проводились по формуле:

$$Y = \frac{M}{(1 + a \exp(b * (x - c(t - t_0))))^d} \quad (3.19)$$

Результаты оценки, полученные при постоянных значениях коэффициентов А, представлены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 - Оценки параметров моделей диффузии ИКТ (3.19) групп стран с разным уровнем дохода населения с логарифмом ВВП на душу населения по ППС в ценах 2017 г. в качестве «пространственной» переменной

Параметры	Интернет		Фиксированная телефонная связь		Мобильная связь		Мобильный широкополосный доступ в интернет	
	значение	t-stat	значение	t-stat	значение	t-stat	значение	t-stat
М	0,956	23,9	0,56	нет	1,311	29,3	1,925	4,4
а	5724,6	0,6	35,6	1,1	1,326	0,04	232,7	0,2
б	-1,392	-6,5	-1,72	-9,0	-0,675	-7,3	-0,685	-2,1
с	-0,106	-42,3	-0,046	-8,2	-0,201	-37,9	-0,116	-14,0
д	1,117	3,4	1,14	3,0	127,9	0,04	2,1	0,8
R ²	0,982		0,951		0,981		0,988	
SSE	0,195		0,213		0,594		0,054	
Количество наблюдений	151		159		158		101	

Фактические и расчетные значения по формуле (3.19) распространения мобильного широкополосного доступа в интернет по странам с различным уровнем доходов населения представлены на рис. 3.13.

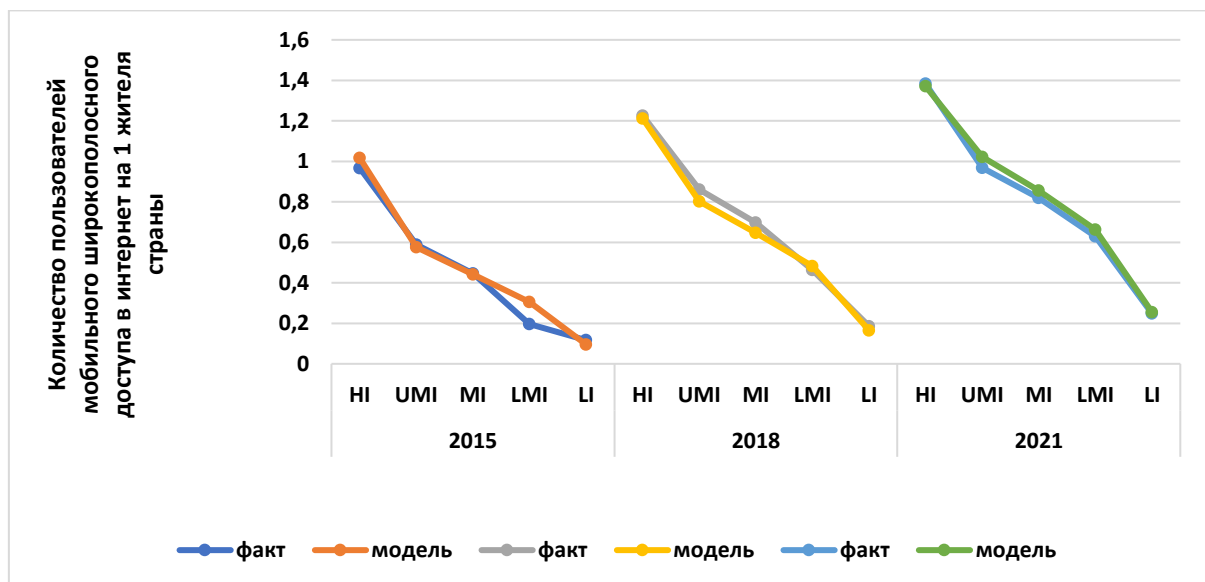


Рисунок 3.13 - Фактические и рассчитанные по модели (3.19) значения распространения мобильного широкополосного доступа в интернет по группам стран с различным уровнем доходов населения за 2015, 2018 и 2021 гг.

Полученные с помощью модели (3.19) оценки параметров позволяют с большой точностью приблизить модельные значения диффузии ряда технологий к фактическим данным (например, интернета, мобильной связи, мобильного подключения к интернету, но не фиксированного подключения к интернету), однако параметры a , b и d не интерпретируемы экономически, а оценка абсолютной скорости волны для уравнения (3.19) оказалась ниже, чем для модели (3.16).

Выводы по главе 3

В данной главе диссертации разработана и апробирована на реальных данных пространственно-временная модель диффузии ИКТ. Были проверены

условия существования бегущей волны на основе теории сингулярных возмущений, которая дает возможность проводить идентификацию модели. Получено приближенное решение волнового уравнения и с его помощью проведено моделирование процессов распространения интернета, широкополосного доступа в интернет, мобильной и фиксированной связи по федеральным округам Российской Федерации, по странам Азиатско-Тихоокеанского региона и по странам с различным уровнем доходов населения. В ходе исследования проверялись гипотезы о влиянии на процесс распространения ИКТ различных макроэкономических показателей. Наиболее значимое влияние на скорость и масштабы распространения ИКТ оказывают показатели логарифма ВВП на душу населения, доли затрат на НИОКР в ВВП стран и индекса развития электронного правительства. В то же время плотность населения и уровень развития человеческого капитала в разных странах оказывали влияние в меньшей степени. Для ФО РФ значимое влияние на распространение мобильной связи оказывал показатель доли расходов на НИОКР в ВРП округа, а также отношение ВРП округа к ВРП Москвы. Для 9 стран Азии исследовалось также влияние географического расстояния на распространение коммуникационных технологий, однако это влияние оказалось менее значимым по сравнению с социально-экономическими факторами.

Разработанная методология исследования позволяет выделить социально-экономические факторы, в наибольшей степени влияющие на диффузию ИКТ, рассчитать приблизительное время достижения требуемого уровня распространения технологии, наметить пути по преодолению цифрового неравенства в регионах России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное в диссертации исследование посвящено моделированию распространения ИКТ, в первую очередь, коммуникационных технологий, в зависимости от социально-экономических и технических факторов. Результаты проведенного исследования подтвердили тот факт, что ИКТ оказывают существенное влияние на экономическое развитие стран. Их потенциал применительно к федеральным округам России реализован не в полной степени.

К основным положениям работы можно отнести следующие:

1. Для оценки уровня развития ИКТ-инфраструктуры в федеральных округах и отраслях экономики России разработан индекс «цифровизации» предприятий и организаций. В соответствии с этим индексом были выделены три группы федеральных округов и определены их основные отличия. К группе 1 были отнесены федеральные округа с индексом цифровизации выше, чем в среднем по России (ЦФО, СЗФО и УФО). К группе 2 отнесен ПФО, показатели цифровизации которого близки к средним показателям по России в целом. К группе 3 отнесены федеральные округа с индексом цифровизации ниже, чем среднероссийские (ЮФО, СКФО, СФО и ДВФО). Индексы цифровой грамотности населения, готовности федерального округа к информационному обществу и «Цифровая Россия» (2018 г.) соответствуют разделению федеральных округов на группы по индексу «цифровизации».

2. Проанализирована зависимость между уровнем «цифровизации» отраслей и федеральных округов Российской Федерации и затратами на ИКТ. Для всех рассмотренных отраслей экономики России, за исключением деятельности в области информации и связи, за период 2004-2019 гг. получена значимая зависимость уровня «цифровизации» от затрат на ИКТ или их отдельных видов, причем для всех видов, кроме затрат на обучение сотрудников, связанное с внедрением и использованием цифровых технологий, эта зависимость положительная. Прирост индекса «цифровизации» за 2002-2020 гг. для Российской Федерации положительно

связан с увеличением затрат организаций на приобретение вычислительной техники и оргтехники, на оплату услуг электросвязи, и отрицательно – с увеличением затрат на услуги сторонних организаций и расходов на обучение сотрудников, связанное с развитием и использованием ИКТ. Пандемия коронавируса привела к приостановке части программ цифровизации. Несмотря на рост стоимостных показателей ИТ-рынка в России, индексы «цифровизации» для регионов и отраслей экономики в 2020 г. снизились по сравнению с 2019 г.

3. Разработана методика анализа и прогнозирования распространения новых ИКТ, включающая последовательные этапы:

выбор наилучшей функциональной зависимости для описания диффузии отдельной технологии на рынке (в случае отсутствия достаточной информации - использование патентной и библиографической статистики);

моделирование диффузии технологии с учетом влияния макроэкономических факторов;

моделирование диффузии технологии с учетом ее технических характеристик;

моделирование распространения конкурирующих технологий, выявление характера и количественная оценка их взаимного влияния на скорость диффузии и рыночный потенциал технологий;

оценка влияния технологических, политических и социально-экономических факторов на скорость и масштабы распространения новых технологий;

построение прогноза.

4. Разработанная в диссертации методика была применена для анализа распространения интернета, широкополосного доступа в интернет и облачных технологий в России и ряде зарубежных стран. Было получено, что модифицированные экономико-математические модели диффузии, включающие в себя влияние внешних факторов, дают лучшее приближение к исходным данным по сравнению с базовыми моделями (Басса, Гомпертца,

Перла-Рида и др.), а полученные на их основе прогнозы дают более реалистические оценки.

Анализ влияния макроэкономических факторов на диффузию ИКТ показал, что для стран с высоким уровнем доходов на скорость распространения технологии в большей степени оказывает влияние показатель плотности населения, тогда как для стран с низким или средним уровнем доходов существеннее влияние уровня безработицы и величины ВВП на душу населения. Учет фактора безработицы в стране дает менее оптимистичные прогнозы распространения технологии по сравнению с базовой моделью Гомпертца.

5. Разработанная методика оценки распространения конкурирующих технологий применена для анализа конкуренции фиксированного и мобильного подключения к интернету, технологий проводного и беспроводного доступа в интернет, а также поколений технологий мобильной связи. В результате проведенного анализа выявлены факторы, благоприятствующие сохранению технологии фиксированного доступа в интернет своей доли рынка, прежде всего, в европейских странах: высокая скорость скачивания и загрузки данных, более низкая стоимость ежемесячной абонентской платы, отсутствие лимита на трафик, более развитый спектр услуг для домохозяйств (фиксированное широкополосное подключение часто используется в пакете с кабельным телевидением и мобильным телефоном). Однако рост мобильности граждан, доходов на душу населения, рост числа мобильных телефонов и смартфонов неизбежно повышает спрос на технологии мобильного подключения, что способствует дальнейшим исследованиям и совершенствованиям этих технологий.

6. Разработана эконометрическая модель, позволившая оценить потенциальное влияние социально-экономических и технических факторов на принятие и распространение технологий широкополосного доступа в интернет (к числу этих факторов относятся среднемесячная стоимость фиксированного доступа в интернет, средняя скорость скачивания информации из интернета по

технологии, валовый национальный доход на душу населения, отношение ежемесячной стоимости фиксированного доступа в интернет к стоимости мобильного, инвестиции в телекоммуникации на душу населения, доля сельских жителей в общей численности населения страны, число пользователей мобильных телефонов на 100 человек жителей), а также получить количественную оценку этого влияния.

7. Для оценки диффузии облачных вычислений использован метод патентного анализа, показано, что технологии, предшествовавшие и сопутствующие облачным вычислениям (grid-вычисления, технологии распределенных вычислений, виртуализация и виртуальные устройства, сервис-ориентированная архитектура), еще не достигли фазы зрелости, количество исследований и разработок в этой области продолжает расти. Дана оценка параметров диффузии облачных вычислений в России.

8. Разработана пространственно-временная модель распространения ИКТ, обосновано существование ее решения в виде волны, распространяющейся в пространстве с постоянной скоростью. На основе теории сингулярных возмущений построено приближенное решение волнового уравнения, продемонстрирована методика идентификации пространственно-временных моделей диффузии ИКТ. Она основана на двухэтапной оценке параметров волнового уравнения: на первом этапе рассчитываются параметры для динамических моделей диффузии ИКТ, на втором этапе, на основе полученных оценок потенциала рынка технологий, оцениваются параметры приближенного решения волнового уравнения. С помощью этой методики оценены пространственно-временные модели диффузии интернета, мобильной сотовой связи и ряда других ИКТ для федеральных округов Российской Федерации, для 9 стран Азиатско-Тихоокеанского региона и групп стран с различным уровнем доходов населения. Для каждой группы объектов получена оценка скорости волны в зависимости от различных «пространственных» переменных. Этот показатель дает оценку того, на сколько должна измениться за один год

«пространственная» характеристика, чтобы другие группы стран или регионы достигли того же уровня распространения ИКТ, что и лидер. При анализе диффузии ИКТ для групп стран с разным уровнем доходов населения в зависимости от показателя ВВП на душу населения наибольшая абсолютная скорость волны получена для диффузии мобильной связи и наименьшая – для фиксированной телефонной связи. Для 9 стран Азии получены аналогичные результаты, что свидетельствует о более высокой скорости распространения мобильной связи по сравнению с другими исследованными ИКТ.

9. Рассчитано время задержки распространения цифровых технологий в организациях федеральных округов Российской Федерации относительно показателей Москвы, а также ИКТ для групп стран с невысоким уровнем дохода относительно стран с высоким уровнем доходов населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». (утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. N 7).
2. Knickrehm, M., Berthon, B., Daugherty, P. (2016) Digital disruption: The growth multiplier. – Accenture Strategy. Tech. report.
3. Zaman, A., Islam, M.N., Zaki, T., Hossain, M. (2020) ICT Intervention in the Containment of the Pandemic Spread of COVID-19: An Exploratory Study.
4. OECD (2020) Digital Transformation in the Age of COVID-19: Building Resilience and Bridging Divides, Digital Economy Outlook 2020 Supplement, OECD, Paris, [Электронный ресурс] URL: www.oecd.org/digital/digital-economy-outlook-covid.pdf (дата обращения: 09.03.2023).
5. ЕМИСС. Доля домашних хозяйств, имеющих широкополосный доступ к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» [Электронный ресурс] URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/43567> (дата обращения: 16.01.2024).
6. ITU ICT Development Index [Электронный ресурс] URL: <http://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/>, (дата обращения: - 02.08.2023).
7. Индикаторы цифровой экономики: 2021: статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневецкий, Л.М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2021. – 380 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-7598-2385-8 (в обл.).
8. Росстат. Региональная статистика. [Электронный ресурс] URL: https://rosstat.gov.ru/regional_statistics (дата обращения: 23.03.2023).
9. The State of Mobile Network Experience. OpenSignal [Электронный ресурс] URL: <https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/data/reports/pdf-only/data-2020->

[05/state_of_mobile_experience_may_2020_opensignal_3_0.pdf](#) (дата обращения: 02.08.2022).

10. Индикаторы информационного общества: 2016: статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, Л. М. Гохберг, М. А. Кевеш и др.; Нац. исслед. ун-т "Высшая школа экономики". - М.: НИУ ВШЭ, 2016. – 304 с.

11. Тенденции развития информационного общества в Российской Федерации. 2020: краткий статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 220 с. – 250 экз. – ISBN 978-5-7598-2344-5 (в обл.).

12. Мониторинг развития информационного общества в Российской Федерации. [Электронный ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/infocommunity> (дата обращения: 17.01.2024).

13. Global broadband pricing league table 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://www.cable.co.uk/broadband/pricing/worldwide-comparison/> (дата обращения: 02.08.2022).

14. Росстат. Выборочное федеральное статистическое наблюдение по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей [Электронный ресурс] URL: https://gks.ru/free_doc/new_site/business/it/ikt21/index.html (дата обращения: 22.03.2023).

15. Bureau of Economic Analysis. [Электронный ресурс] – URL:: https://apps.bea.gov/iTable/iTable.cfm?reqid=150&step=2&isuri=1&categories=gdp_xind (дата обращения: 02.08.2022).

16. The State of U.S. Science and Engineering 2022. [Электронный ресурс] – URL: <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20226/data> (дата обращения: 03.08.2022).

17. Индикаторы цифровой экономики: 2022: статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишнеvский, Л. М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 332 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-7598-2697-2 (в обл.).

18. Postuła, M., Chmielewski, W. (2019) The Impact of Intangible Assets and R&D Expenditure on the Market Capitalization and EBITDA of Selected ICT Sector Enterprises in the European Union // International Journal of Economics and Finance; Vol. 11, No. 8; P. 117-128.

19. Цифровая экономика: 2023: краткий статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишнеvский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 120 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-7598-2744-3 2 p.

20. Дубинина М. Г. Неравномерность развития цифровой экономики в федеральных округах России // Управление наукой и наукометрия. 2019. Т. 14, № 3. С. 368–399. doi: 10.33873/2686-6706.2019.14-3.368-399.

21. Huawei. 2017 Global Connectivity Index. [Электронный ресурс] URL: <http://www.shaanhaider.com/2017/04/huawei-global-connectivity-index-2017-report.html> (дата обращения: 02.11.2023).

22. Архипова М. Ю., Сиротин В. П. Региональные аспекты развития информационно-коммуникационных и цифровых технологий в России // Экономика региона. — 2019. — Т. 15, вып. 3. — С. 670-683. doi 10.17059/2019-3-4.

23. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. - М., 2022. - 1122 с.

24. Итоги федерального статистического наблюдения по ф. № 3-информ «Сведения об использовании информационных и коммуникационных технологий и производстве вычислительной техники, программного обеспечения и оказании услуг в этих сферах». [Электронный ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/154849?print=1> (дата обращения: 12.08.2022).

25. Облачные сервисы. Взгляд из России. Под ред. Е. Гребнева. - М.: CNews, 2011. - 282 с.

26. Развитие интернета в регионах России. [Электронный ресурс] URL: https://yandex.ru/company/researches/2016/ya_internet_regions_2016#stoimostiskorostdostupavinternet (дата обращения: 12.01.2021).

27. Социально-экономические показатели по субъектам Российской Федерации. [Электронный ресурс] URL: https://rosstat.gov.ru/regional_statistics (дата обращения: 24.03.2023).

28. Информационное общество в Российской Федерации. 2020: статистический сборник [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – Электрон. текст дан. (33,6 Мб). – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – ISBN 978-5-7598-2237-0.

29. Российский статистический ежегодник. 2021: Стат.сб./Росстат. – М., 2021 – 692 с.

30. Российские регионы планируют увеличить ИТ-расходы на треть. [Электронный ресурс] URL: https://www.cnews.ru/articles/2020-05-22_regiony_planirovali_uvelichit_itrashody (дата обращения: 09.08.2022).

31. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Методика оценки уровня развития информационного общества в субъектах Российской Федерации [Электронный ресурс] URL: https://digital.gov.ru/ru/documents/4949/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f (дата обращения: 15.01.2024).

32. Сводная таблица индекса цифровизации субъектов Российской Федерации. [Электронный ресурс] URL: https://finance.skolkovo.ru/downloads/documents/FinChair/Research_Reports/SKOLKOVO_Digital_Russia_Application01_2019-04_ru.pdf (дата обращения: 12.01.2024).

33. Минцифры потратит 50 миллионов, чтобы переделать рейтинг цифровизации российских регионов. [Электронный ресурс] URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-03-22_mintsifry_potratit_50_millionov (дата обращения: 29.07.2021).

34. Индекс «Цифровая Россия». Центр финансовых инноваций и безналичной экономики Московской школы управления СКОЛКОВО.

[Электронный ресурс] URL: <https://www.skolkovo.ru/> (дата обращения: 16.01.2024).

35. Tarde G. (1903) *The laws of imitation*. Henry Holt and Company, New York.

36. Teece, D. (1980). *The diffusion of an administrative innovation*. *Manage. Sci.* 26, 464-470.

37. Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям. Перевод с английского - издание второе исправленное. Москва, 2010.

38. Rogers, E.M. (1995) *Diffusion of innovations* (4th ed.). New York: The Free Press.

39. Golder, Peter N., Gerard J. Tellis. (1997) *Will It Ever Fly? Modeling the Takeoff of Really New Consumer Durables*. *Marketing Science* 16 (3), 256–270.

40. Bass, F. A. (1969) *New Product Growth for Model Consumer Durables* // *Management Science*. 15 (5). P. 215-227.

41. Дубинина М.Г. Моделирование динамики взаимосвязи макроэкономических показателей и показателей распространения ИТ в развитых и развивающихся странах // *Труды Института системного анализа Российской академии наук*. -2015-65-1. - С. 24-37.

42. Ashutosh, J., Debashis, S. (2020) *Forecasting and analysing the characteristics of 3G and 4G mobile broadband diffusion in India: A comparative evaluation of Bass, Norton-Bass, Gompertz, and logistic growth models* // *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 152, 119885, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119885>.

43. Земцов, С. П. Моделирование диффузии инноваций и типология регионов России на примере сотовой связи / С. П. Земцов, В. Л. Бабурин // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. – 2017. – № 4. – С. 17-30. – DOI 10.7868/S0373244417100024.

44. Øverby, H., Audestad, J.A., Szalkowski, G.A. (2023) *Compartmental market models in the digital economy—extension of the Bass model to complex*

economic systems // Telecommunications Policy, Volume 47, Issue 1, 102441, ISSN 0308-5961, <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102441>.

45. Дубинина М.Г. Пространственно-временные модели распространения информационно-коммуникационных технологий // Компьютерные исследования и моделирование. 2023. Т. 15 № 6 С. 1697–1714. DOI: 10.20537/2076-7633-2023-15-6-1697-1714.

46. Griliches, Z. (1957) Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change // *Econometrica*. – Vol. 25. – P. 501-522.

47. Мэнсфилд, Э. Экономика научно-технического прогресса [Текст] / Э. Мэнсфилд; Сокращенный пер. с англ. под ред. д-ра экон. наук Е. М. Четыркина; Предисл. чл.-кор. АН СССР Л. М. Гатовского и д-ра экон. наук Д. С. Львова. - Москва: Прогресс, 1970. - 237 с.: ил.; 23 см.

48. Сахал Д. Технический прогресс: концепции, модели, оценки. - М. Финансы и статистика. 1985.

49. Варшавский А.Е. Научно-технический прогресс в моделях экономического развития. - М.: Финансы и статистика, 1984.

50. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. – М.: Прогресс. 1974.

51. Gompertz, B. (1825) On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. - *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115 - P. 513–585.

52. Fisher, J. C., Pry, R. H. (1971) A simple substitution model of technological change // *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 3. No 2. P. 75—88.

53. Richards, F.J. (1959) A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10:290–300.

54. Coleman, J.S., Katz, E., & Menzel, H. (1966) Medical innovation: Diffusion of a medical drug among doctors.. – Indianapolis: Bobbs–Merrill.

55. Jaakkola, Hannu & Gabbouj, Moncef & Neuvo, Y. (1998). Fundamentals of technology diffusion and mobile phone case study // *Circuits, Systems, and Signal Processing*. 17. 421-448. 10.1007/BF01202301.

56. Bass, F.M., Krishnan, T.V., Jain D.C. (1994) Why the Bass model fits without decision variables // *Marketing Science*. – 13 – P. 203–223.

57. Guseo, R., Dalla Valle, A., Guidolin M. (2007) World oil depletion models: Price effects compared with strategic or technological interventions // *Technological Forecasting and Social Change* - 74(4) – P. 452–469.

58. Дубинина М.Г. Исследование современных подходов к моделированию процессов распространения технологий в наукоемких отраслях // *Труды Института системного анализа Российской академии наук*. – 2015. – Т. 65. – № 3. – С. 43-54.

59. Bagchi, K., Kirs, P., Lopez, F. (2008) The impact of price decreases on telephone and cell phone diffusion. // *Information and Management*. - 45. - P. 183–193.

60. Skiadas, C.H. (1986) Innovation Diffusion Models Expressing Asymmetry and/or Positively or Negatively Influencing Forces // *Technological Forecasting and Social Change*. – 30. – P. 313–330.

61. Giovanis, A.N., Skiadas, C.H. (2007) A new modeling approach investigating the diffusion speed of mobile telecommunication services in EU-15 // *Comput Econ*. – 29. –P.:97–106.

62. Min, S.; So, K.K.F.; Jeong, M. (2019) Consumer adoption of the Uber mobile application: Insights from diffusion of innovation theory and technology acceptance model // *Journal of Travel & Tourism Marketing*. 36, 770–783. DOI: 10.1080/10548408.2018.1507866.

63. Zhou, L.; Lin, J.; Li, Y.; Zhang, Z. (2020) Innovation Diffusion of Mobile Applications in Social Networks: A Mul-ti-Agent System//*Sustainability*, 12, 2884. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12072884>.

64. Chien, Mei-Se & Cheng, Chih-Yang & Kurniawati, Meta Ayu. (2020) The non-linear relationship between ICT diffusion and financial development

//Telecommunications Policy, Elsevier, vol. 44(9). DOI: 10.1016/j.telpol.2020.102023.

65. Stenberg, P.L. (2018) The purchase of Internet subscriptions in Native American households // Telecommunications Policy, Volume 42, Issue 1, February, P. 51-60.

66. Jaschinski, C., Ben Allouch, S., Peters, O., Cachucho, R., van Dijk, J.A.G.M. (2021) Acceptance of Technologies for Aging in Place: A Conceptual Model // J Med Internet Res;23(3):e22613 doi: 10.2196/22613.

67. Lim, H., Jun, D.B., Hamoudia, M. (2019) A choice-based diffusion model for multi-generation and multi-country data // Technological Forecasting and Social Change, Volume 147, P. 163-173.

68. Elstner, S., Grimme, Ch., Kecht, V., Lehmann, R. (2020) The Diffusion of Technological Progress in ICT // CESifo Working Paper No. 8790.

69. Benseny, J., Töyli, J., Hämmäinen, H., Arcia-Moret, A. (2019) The mitigating role of regulation on the concentric patterns of broadband diffusion. The case of Finland // Telematics and Informatics, Volume 41, P. 139-155.

70. Делицын Л. Л., Матвеева Н. С. Моделирование динамики глобальной аудитории интернета с учетом региональных различий // Стратегии бизнеса. — 2014. — № 2. — С. 35–37.

71. Lengyel, B., Bokányi, E., Di Clemente, R. et al. (2020) The role of geography in the complex diffusion of innovations // Scientific Reports 10, 15065. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72137-w>.

72. Kyriakidou, V., Michalakelis, C., Sphicopoulos, T. (2013) Driving factors during the different stages of broadband diffusion: A non-parametric approach // Technological Forecasting & Social Change. – 80. – P. 132–147.

73. Kumar, N. (2015) Review of Innovation Diffusion Models. - 10.13140/RG.2.1.2413.0728.

74. Stokey, N. (2021). "Technology Diffusion," Review of Economic Dynamics, Elsevier for the Society for Economic Dynamics, vol. 42, pages 15-36, October.

75. Kucharavy, D., De Guio, R. (2011) Logistic substitution model and technological forecasting // *Procedia Engineering*, Bd. 9, P. 402-416.

76. Volterra, V. (1926) Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically // *Nature*. vol. 118. no. 2972, P. 558–560.

77. Norton, J.A., Bass, F.M. (1987) A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-technology Products // *Manag.Sci.* 33. P. 1069–1086.

78. Peterka, V. (1977) *Macrodynamics of Technological Change: Market Penetration by New Technologies.* – RR-77-22, November, IIASA, Laxenburg, Austria.

79. Quaglione, D, Matteucci, N., Furia, D., Marra, A., Pozzi, C. (2020) Are mobile and fixed broadband substitutes or complements? New empirical evidence from Italy and implications for the digital divide policies // *Socio-Economic Planning Sciences*, Volume 71, 100823, ISSN 0038-0121, <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100823>.

80. Kim, N., Bridges, E., Srivastava, R. (1999) A simultaneous model for innovative product category sales diffusion and competitive dynamics // *International Journal of Research in Marketing.* - 16. - P. 562–583.

81. Vidal-Abarca, A.O., Ruiz, A.U. (2015) Fixed and Mobile broadband adoption rates across the world: Present and Future // *EAGLEs Economic Watch*, 29 Oct, 15 p.

82. Brown, L. (1981) *Innovation diffusion: A new perspective.* London, UK: Methuen.

83. Morrill, R., Gaile, G. L., Thrall, G. I. (1988) *Spatial diffusion.* SAGE scientific geography series 10. Newbury Park, CA: SAGE Publications, Inc.

84. Nijkamp, P., Reggiani, A. (1993). *Space-Time Dynamics, Spatial Competition and the Theory of Chaos.* In: Lakshmanan, T.R., Nijkamp, P. (eds) *Structure and Change in the Space Economy.* Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-78094-3_3.

85. Lee, J.& L., Lay, J.-G., Chin, B.Ch., Chi, Y.-L., Hsueh, Y.-H. (2016) An Experiment to Model Spatial Diffusion Process with Nearest Neighbor Analysis and Regression Estimation. // International Journal of Applied Geospatial Research. 5. 1-15. 10.4018/ijagr.2014010101.

86. Mahajan, V., Peterson, R. A. (1979) Integrating Time and Space in Technological Substitution Models. // Technological Forecasting and Social Change, 14. – P. 231-241.

87. Frank, L.D. (2002) A spatial model of the diffusion of mobile communications within the European Union. 42nd Congress of the European Regional Science Association: "From Industry to Advanced Services - Perspectives of European Metropolitan Regions", August 27th - 31st, Dortmund, Germany, European Regional Science Association (ERSA), Louvain-la-Neuve

88. Kandler, A., Steele, J. (2009) Innovation diffusion in time and space: Effects of social information and of income inequality. In Diffusion Fundamentals III: -Athens – P. 82–98 - Leipzig: Leipziger Universittsverlag.

89. The World Bank Indicators [Электронный ресурс] URL: <https://data.worldbank.org/indicator> (дата обращения: 12.08.2023).

90. ITU. Key ICT indicators for developed and developing countries and the world (totals and penetration rates) – 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> (дата обращения: 12.08.2022).

91. OECD Going Digital Toolkit. [Электронный ресурс] URL: <https://goingdigital.oecd.org/> (дата обращения: 12.08.2022).

92. Eurostat. [Электронный ресурс] URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_cicce_usen2/default/table?lang=en (дата обращения: 15.03.2023).

93. National Science Foundation Statistics [Электронный ресурс] URL: <https://www.nsf.gov/statistics/> (дата обращения: 12.08.2022).

94. Дубинина М.Г. Моделирование диффузии технологий беспроводной связи // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов /

Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов. Выпуск 28. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2021. с. 108–116. DOI: 10.20537/mce2021econ10.

95. Mahajan, V., Muller, E., Srivastava, R. K. (1990) Determination of Adopter Categories by Using Innovation Diffusion Models // Journal of Marketing Research. 27, (1), 37-50. Research Collection Lee Kong Chian School Of Business. Available at: http://ink.library.smu.edu.sg/lkcsb_research/4122.

96. Дубинина М. Г. Моделирование диффузии прогрессивных технологий (на примере технологий фиксированного и мобильного широкополосного подключения к интернету) // Вестник ЦЭМИ РАН (электронная публикация). — 2018. — № 2..

97. Barker, T. E. (2016). The Economic Benefits Of Cloud Computing. In Into the Clouds: European SMEs and the Digital Age (pp. 3–3). Atlantic Council. <http://www.jstor.org/stable/resrep03681.6>

98. DataReportal. Digital 2023. [Электронный ресурс] URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report> (дата обращения: 22.03.2023).

99. Number of Smartphone and Mobile Phone Users Worldwide in 2022/2023: Demographics, Statistics, Predictions [Электронный ресурс] URL: <https://financesonline.com/number-of-smartphone-users-worldwide/> (дата обращения: 22.03.2023).

100. Social Media Use Continues to Rise in Developing Countries but Plateaus Across Developed Ones [Электронный ресурс] URL: <http://www.pewglobal.org/2018/06/19/social-media-use-continues-to-rise-in-developing-countries-but-plateaus-across-developed-ones/> (дата обращения: 22.03.2023).

101. Top Countries/Markets by Smartphone Users. [Электронный ресурс] URL: <https://newzoo.com/insights/rankings/top-countries-by-smartphone-penetration-and-users> (дата обращения: 22.03.2023).

102. Дубинина М.Г. Факторы, влияющие на диффузию новой мобильной техники (на примере смартфонов). // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов / Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов (выпуск 26). № 2. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2019. – С.– .132-140

103. Дубинина М.Г. Анализ и моделирование диффузии облачных вычислений в России и за рубежом // Труды Института системного анализа Российской академии наук. - 2017 – Том 67 – выпуск 4. С.22-34.

104. WIPO. [Электронный ресурс] URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/result.jsf>, (дата обращения: 28.02.2023).

105. Hybrid Customer Insight. Data Collection and Analysis On-premise And In the Cloud. - Forrester Research Inc. [Электронный ресурс] URL: <http://licensinglive.com/wp-content/uploads/2012/03/Hybrid-Customer-Insight-Data-Collection-and-Analysis-from-on-premise-in-the-cloud.pdf> (дата обращения: 12.01.2021).

106. Japan Platform for the Patent Information J-PlatPat [Электронный ресурс] URL: <https://www19.j-platpat.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1LIST>, (дата обращения: 24.12.2020).

107. Information and Communications in Japan. White Paper 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/eng/WP2020/2020-index.html>, (дата обращения: 12.01.2021).

108. GSMA. The Mobile Economy 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2022/02/280222-The-Mobile-Economy-2022.pdf> (дата обращения: 22.03.2023).

109. Worldwide broadband speed league 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://www.cable.co.uk/broadband/speed/worldwide-speed-league/> (дата обращения: 22.03.2023).

110. Digital 2022: April Global Statshot Report. [Электронный ресурс] URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2022-april-global-statshot> (дата обращения: 22.03.2023).

111. OECD Broadband Portal [Электронный ресурс] URL: <https://www.oecd.org/digital/broadband/broadband-statistics/> (дата обращения: 22.03.2023).

112. Ратникова, Т. А., Фурманов К. К. Анализ панельных данных и данных о длительности состояний [Текст]: учеб. пособие / Т. А. Ратникова, К. К. Фурманов; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. — 373, [3] с. — 1000 экз. — ISBN 978-5-7598-1093-3 (в обл.).

113. Cisco [Электронный ресурс] URL: https://www.cisco.com/c/en_uk/solutions/routing-switching/dsl.html (дата обращения: 30.03.2023).

114. Speedtest Global Index [Электронный ресурс] URL: <https://www.speedtest.net/global-index> (дата обращения: 23.03.2023).

115. OECD Digital Economy Outlook 2015 - [Электронный ресурс] URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/42577/3222224/Digital+economy+outlook+2015/dbdec3c6-ca38-432c-82f2-1e330d9d6a24> (дата обращения: 12.04.2018).

116. ITU Data Hub [Электронный ресурс] URL: <https://datahub.itu.int/indicators/> (дата обращения: 16.01.2024).

117. Дубинина М.Г. Моделирование диффузии поколений технологий мобильной связи // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов / Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов. Выпуск 27. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2020. с. 95–103. DOI: 10.20537/mce2020econ09.

118. Becky P.Y. Loo, Y.L. Ngan. (2012) Developing mobile telecommunications to narrow digital divide in developing countries? Some lessons from China // Telecommunications Policy, Volume 36, Issues 10–11, P. 888-900, ISSN 0308-5961, <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2012.07.015>.

119. Patel, S., Shah, D. (2011) 3G-4G Spectrum.. URL: https://www.researchgate.net/publication/232614049_3G-4G (дата обращения: 09.03.2023).

120. Fagbohun, O.O. (2014) Comparative studies on 3G,4G and 5G wireless technology // IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE) e-ISSN: 2278-2834,p- ISSN: 2278-8735. Volume 9, Issue 3, Ver. I , P. 88-94.

121. Technology Digest. Evolution of Mobile Communications. - Telecom Regulatory Authority of India, Issue, May 2018.

122. 4G service revenue to overtake 3G in 2016. [Электронный ресурс] URL: <https://telecoms.com/472922/4g-service-revenue-to-overtake-3g-in-2016/> (дата обращения - 17.01.20).

123. The status of the 2G/3G network sunset. [Электронный ресурс] URL: <https://nae.global/en/the-status-of-the-2g-3g-network-sunset/> (дата обращения - 19.11.2019).

124. 2G осталось на обочине прогресса [Электронный ресурс] URL: <http://www.comnews.ru/content/202599/2019-10-28/2019-w44/2g-ostalos-obochine-progressa#ixzz6Apl63jrx> (дата обращения - 19.01.2020).

125. Internet Traffic Volume. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ibisworld.com/us/bed/internet-traffic-volume/88089/> (дата обращения: 17.01.2024).

126. Different Types of Wireless Communication Technologies. [Электронный ресурс] URL: <https://www.typesnuses.com/different-types-wireless-communication-technologies> (дата обращения - 27.03.20).

127. Sharma, K., Dhir, N. (2014) A study of wireless networks: WLANs, WPANs, WMANs, and WWANs with comparison // International Journal of Computer Science and Information Technologies, vol. 5 (6), P. 7810-7813.

128. CTIA. The Wireless Industry Data [Электронный ресурс] URL: <https://www.ctia.org/the-wireless-industry/infographics-library> (дата обращения: 19.01.2024).

129. CTIA. 2020 Annual Survey Highlights [Электронный ресурс] URL: <https://www.ctia.org/news/report-2020-annual-survey-highlights> (дата обращения: 17.01.2024).
130. Nijkamp, P., Reggiani, A. (1996) Space-Time Synergetics in Innovation Diffusion: A Nested Network Simulation Approach // *Geographical Analysis*, Vol. 28, No. 1.
131. Hagerstrand, T. (1967) *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. - University of Chicago Press (A. Pred, trans.).
132. Shinohara, K. (2012) Space-Time Innovation Diffusion Based on Physical Analogy // *Applied Mathematical Sciences*, Vol. 6, no. 51, 2527–2558.
133. Murray, J.D. (2002) *Mathematical Biology: I. An Introduction*, Third Edition. – Springer.
134. Kandler, A. (2009) Demography and language competition // *Human Biol.* – 81 – 181 p.
135. Walters, C.E. (2014) A reaction–diffusion model for competing languages // *Meccanica*, Volume 49, Issue 9, pp 2189–2206. <https://doi.org/10.1007/s11012-014-9973-2>.
136. Isern, N., & Fort, J. (2014). Language extinction and linguistic fronts. *Journal of the Royal Society Interface*, 11.
137. Fisher, R.A. (1937) The wave of advance of advantageous genes. - *Ann. Eugenics*, 7:353–369.
138. Колмогоров А.Н. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием вещества, и его применение к одной биологической проблеме / А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский, Н.С. Пискунов // *Бюл. МГУ. Сер. А. Математика и механика*. — 1937. — Т. 1. — 6. — с. 1-16.
139. Shchepakina, L., Sobolev, V., Zhang, I. (2019) Critical travelling wave solution in one singularly perturbed parabolic equation // *J. Phys.: Conf. Ser.* 1368 042060. doi:10.1088/1742-6596/1368/4/042060.
140. Вольперт, Айзик Исаакович. Бегущие волны, описываемые монотонными параболическими системами / А. И. Вольперт, В. А. Вольперт;

АН СССР, Отд-ние Ин-та хим. физики. - Препр. - пос. Черноголовка (Моск. обл.) : ОИХФ, 1990. – 48.

141. Fife, P.C. (1979) *Mathematical aspects of reacting and diffusing systems*. — Berlin: Springer Verlag. — 285 p.

142. Ильина К.П. Эффективный численный метод решения задачи Фишера - Колмогорова-Петровского-Пискунова // МНИЖ. 2023. №3 (129). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnyy-chislennyy-metod-resheniya-zadachi-fishera-kolmogorova-petrovskogo-piskunova> (дата обращения: 02.07.2023).

143. Volpert V., Petrovskii, S. (2009) *Reaction–diffusion waves in biology* // *Physics of Life Reviews*. - 6. – P.267–310.

144. Фурсова П. В., Тёрлова Л. Д., Ризниченко Г. Ю. *Математические модели в биологии*. - Издательство «РХД», 2014.

145. Ablowitz, M. J., Zeppetella, A. (1979) Explicit solutions of Fisher's equation for a special wave speed, *Bull. Math. Biology*, 41. P. 835–840.

146. Morrill, R.L (1970) The shape of diffusion in space and time. *Economic Geography*, 46:259–268.

147. Hattam, L., Vukadinović Greetham, D.V. (2018) An innovation diffusion model of a local electricity network that is influenced by internal and external factors // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 490, P. 353-365, ISSN 0378-4371, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.08.014>.

148. Kleinknecht, A. H. (1987). *Innovation Puttens in Crises and Prosperity*. London: MacMillan.

149. Лукиных В.Ф., Аврамчикова Н.Т. Методические основы интерференции волновых процессов при пространственной диффузии нововведений. / *Рос. экон. журн. : Интернет-журн. Акад. труда и соц. отношений*. – 2008. [Электронный ресурс] URL:: http://www.e-rej.ru/Articles/2008/Lukinykh_Avramchikova.pdf (дата обращения: 29.11.2018).

150. Bokányi, E., Novák, M., Jakobi, Á., Lengyel, B. (2022) Urban hierarchy and spatial diffusion over the innovation life cycle. *R. Soc. open sci.* 9211038211038 <http://doi.org/10.1098/rsos.2110382527> – 2558.

151. Полтерович В.М., Хенкин Г.М. Эволюционная модель взаимодействия процессов создания и заимствования технологий // *Экономика и математические методы* - №6 - 1988.

152. Полтерович В.М. Теория эндогенного экономического роста и уравнения математической физики // *Журнал Новой экономической ассоциации*. – 2(34) – 2017 – С. 193–202.

153. Indekeu, J.O., Smets, R. (2017) Traveling wavefront solutions to nonlinear reaction-diffusion-convection equations // *Journal of Physics A*. – Vol.50, No.31. – id.315501.

154. Эрроусмит Д., Плейс К. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Качественная теория с приложениями. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 243 с.

155. Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: "Наука", 1974, 331 с.

156. Kevorkian, J., Cole, J.D. (1996) Multiple scale and singular perturbation methods. – Springer, 648 P.

157. CNews: Рейтинг ИКТ-бюджетов регионов 2020. URL: <https://www.cnews.ru/tables/b92583f846d5eaf535d2d7c9a984f32a39e646ef> (дата обращения: 08.04.2023).

158. Логинов А.Н., Гойхер О.Л. Концепция пространственного поляризованного развития: точка роста, полюс роста, транспортно-коммуникационные и информационно-коммуникационные коридоры // РППЭ. 2015. №11 (61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontsepsiya-prostranstvennogo-polyarizovannogo-razvitiya-tochka-rosta-polyus-rosta-transportno-kommunikatsionnye-i-informatsionno> (дата обращения: 08.04.2023).

159. Росстат. Мониторинг развития информационного общества в Российской Федерации [Электронный ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/infocommunity> (дата обращения: 16.01.2024).
160. IDI 2017 Rank. [Электронный ресурс] URL: <https://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html> (дата обращения: 25.07.2023).
161. UNSTAD. [Электронный ресурс] URL: <https://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx> (дата обращения: 25.07.2023).
162. Singtel. Annual Report FY2022. [Электронный ресурс] URL: <https://www.singtel.com/about-us/investor-relations/annual-report-fy2022> (дата обращения: 28.03.2023).
163. Benchmarking the Global 5G Experience — June 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://www.opensignal.com/2022/06/22/benchmarking-the-global-5g-experience-june-2022> (дата обращения: 26.03.2023).
164. Bhujabal, P, Sethi, N, Padhan, P.C. (2021) ICT, foreign direct investment and environmental pollution in major Asia Pacific countries. *Environ Sci Pollut Res Int.* Aug;28(31):42649-42669. doi: 10.1007/s11356-021-13619-w. Epub 2021 Apr 5. PMID: 33818724.
165. Fiber technology dominates Asia-Pacific broadband growth. [Электронный ресурс] URL: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/research/fiber-technology-dominates-asia-pacific-broadband-growth> (дата обращения: 28.07.2023).
166. E-Government Development Index (EGDI). [Электронный ресурс] URL: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/About/Overview/-E-Government-Development-Index> (дата обращения: 30.03.2023).
167. ITU Statistics. [Электронный ресурс] URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> (дата обращения: 01.10.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

При оценке моделей диффузии использовались данные Федеральной службы государственной статистики, Международного союза электросвязи и World Bank, которые имеют следующее толкование:

под **пользователями интернета** понимаются люди, которые пользовались интернетом в последние 3 месяца с любой точки доступа с помощью компьютера, мобильного телефона, цифрового ТВ, персонального цифрового помощника, игровой приставки и т.д. Показатель рассчитывается на 100 человек жителей;

статистика **ФШДИ** включает в себя высокоскоростной доступ в Интернет (TCP / IP-соединение) со скоростью не ниже 256 кбит/с, реализуемый с помощью кабельного модема, DSL, оптоволоконных и других фиксированных (проводных) широкополосных технологий, широкополосную связь и наземную фиксированную беспроводную широкополосную связь. Эта сумма измеряется независимо от способа оплаты и определяется как общее количество подключений в расчете на 100 человек жителей;

беспроводная мобильная широкополосная связь — это мобильный доступ в интернет со скоростью передачи данных 256 кбит / с или более, который должен разрешать доступ через HTTP и использоваться для передачи данных через Internet Protocol (IP) в течение предыдущих трех месяцев. Стандартные SMS и MMS-сообщения не считаются активным подключением к Интернету, даже если они доставляются через IP. Этот показатель измеряется в количестве подписчиков на 100 жителей; телефонная связь осуществляется с помощью фиксированных телефонных линий и мобильной сотовой связи.

Количество абонентов фиксированной телефонной связи рассчитывается по суммарному количеству активных аналоговых фиксированных телефонных линий, пользователей голосовой передачи по IP (VoIP), фиксированного беспроводного локального контура (WLL),

эквивалентов речевого канала ISDN и фиксированных государственных таксофонов.

Количество пользователей мобильной сотовой связи определяется по числу пользователей портативных мобильных телефонов, которые обеспечивают доступ с использованием сотовой технологии.

Информационные технологии – процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2 - Корреляционная зависимость между параметрами модели Басса (1.5) и средним за исследуемый период показателем ВВП на душу населения

№ п/п	Страна	Распространение интернета, 1990-2021 гг.			Распространение широкополосного доступа в интернет, 2000-2021 гг.			Логарифм среднего за период ВВП на душу населения в ценах 2015 г., тыс. долл.	
		р	q	М	р	q	М	1990-2021 гг.	2000-2021 гг.
1	Австралия	0,0334	0,195	87,3	0,0793	0,161	34,5	3,8966	3,783
2	Австрия	0,0195	0,249	86,5	0,0488	0,267	28,6	3,6952	3,930
3	Аргентина	0,0065	0,228	92,7	0,0296	0,164	24,4	2,4504	3,055
4	Армения	0,0014	0,436	73,4	0,0227	0,292	15,3	0,8899	2,179
5	Афганистан	0,0018	0,323	22,8	0,0003	0,267	3,3	-0,6872	0,562
6	Бангладеш	0,0001	0,474	25,9	0,0086	0,785	5,5	-0,1072	1,256
7	Бахрейн	0,0024	0,357	99,0	0,0555	0,188	17,3	3,0738	3,846
8	Бельгия	0,0225	0,229	89,5	0,0483	0,204	40,3	3,6129	3,851
9	Болгария	0,0144	0,186	78,6	0,0498	0,001	54,0	1,7175	2,827
10	Боливия	0,0001	0,244	68,7	0,0010	0,335	31,2	0,8534	1,903
11	Бразилия	0,0095	0,159	99,0	0,0159	0,192	20,3	2,0216	2,613
12	Великобритания	0,0177	0,360	90,5	0,0611	0,266	39,3	3,6981	3,753
13	Венгрия	0,0111	0,306	82,4	0,0422	0,208	34,1	2,3776	3,218
14	Вьетнам	0,0105	0,191	88,1	0,0062	0,175	44,1	0,5738	1,838
15	Германия	0,0173	0,368	86,4	0,0485	0,266	41,6	3,5979	3,860
16	Гонконг	0,0253	0,171	92,9	0,0993	0,100	37,6	3,5065	3,881
17	Греция	0,0095	0,201	82,9	0,0484	0,174	44,5	2,9377	3,437
18	Грузия	0,0082	0,260	83,2	0,0162	0,316	26,3	1,0121	2,252

Таблица П2. Продолжение

19	Дания	0,0169	0,414	94,8	0,0807	0,300	43,0	3,9065	3,946
20	Евросоюз	0,0162	0,228	84,2	0,0497	0,204	36,5	3,3153	3,656
21	Израиль	0,0090	0,247	88,9	0,1735	0,109	28,6	3,4793	3,515
22	Индия	0,0001	0,327	99,0	0,0223	0,456	1,5	0,0862	1,438
23	Иордания	0,0063	0,222	81,7	0,0427	0,252	5,3	1,3863	2,319
24	Иран	0,0001	0,339	85,9	0,0062	0,618	11,0	1,5151	2,631
25	Ирландия	0,0135	0,259	89,2	0,0887	0,233	29,8	3,8511	4,093
26	Исландия	0,0222	0,372	97,0	0,0755	0,308	39,2	3,8739	3,886
27	Испания	0,0184	0,174	95,5	0,0545	0,120	37,2	3,1828	3,613
28	Италия	0,0198	0,160	74,5	0,0638	0,175	29,4	3,4358	3,748
29	Казахстан	0,0077	0,514	83,5	0,0202	0,591	13,7	2,0037	2,951
30	Камерун	0,0017	0,320	53,1	0,0541	0,990	1,9	0,2277	1,183
31	Канада	0,0283	0,269	89,5	0,0639	0,115	42,6	3,7149	3,775
32	Кипр	0,0155	0,143	99,0	0,0409	0,227	37,9	3,1479	3,596
33	Киргизия	0,0001	0,277	99,0	0,0030	0,783	4,2	-0,0827	1,403
34	Китай	0,0092	0,194	84,6	0,0066	0,248	43,3	1,5364	2,162
35	Колумбия	0,0072	0,286	70,5	0,0186	0,271	16,0	1,5886	2,457
36	Латвия	0,0350	0,219	87,7	0,0458	0,537	25,6	2,3927	3,094
37	Литва	0,0315	0,190	86,0	0,0525	0,372	28,5	2,4031	3,210
38	Люксембург	0,0183	0,333	96,6	0,0720	0,453	35,4	4,5544	4,699
39	Мексика	0,0048	0,218	79,8	0,0299	0,159	19,3	2,1861	2,904
40	Мир в целом	0,0051	0,126	99,0	0,0216	0,056	30,9	2,1639	2,620
41	Молдова	0,0034	0,326	84,5	0,0237	0,305	18,0	0,7930	2,142
42	Нидерланды	0,0178	0,362	91,9	0,0392	0,425	42,0	3,7176	3,936
43	Новая Зеландия	0,0468	0,184	88,3	0,0452	0,285	35,1	3,5153	3,635
44	Норвегия	0,0202	0,360	95,7	0,0683	0,318	41,1	4,2244	4,115
45	Парагвай	0,0049	0,266	87,6	0,0010	0,210	78,4	1,5776	2,322
46	Перу	0,0098	0,127	99,0	0,0145	0,163	12,7	1,4848	2,251

Таблица П2. Продолжение

47	Польша	0,0165	0,200	85,0	0,0571	0,335	20,7	2,2355	3,142
48	Португалия	0,0159	0,132	91,9	0,0202	0,075	71,7	2,9161	3,444
49	Российская Федерация	0,0062	0,333	85,5	0,0313	0,287	23,6	2,0225	3,091
50	Румыния	0,0099	0,161	99,0	0,0313	0,099	41,1	1,9344	3,000
51	Саудовская Аравия	0,0070	0,278	99,0	0,0010	0,519	21,5	2,9002	3,800
52	Северная Америка	0,0282	0,216	85,5	0,0469	0,209	35,9	3,9009	3,987
53	Сингапур	0,0287	0,199	87,8	0,0380	0,402	26,6	3,7537	4,317
54	Словакия	0,0349	0,260	83,7	0,0413	0,094	40,5	2,5236	3,167
55	Словения	0,0283	0,151	89,4	0,0737	0,206	30,5	2,9670	3,474
56	Страны OECD	0,0203	0,183	85,8	0,0586	0,152	33,6	3,4631	3,674
57	Страны Европы	0,0172	0,240	84,2	0,0537	0,201	38,6	3,4589	3,750
58	Страны с высоким доходом на душу населения	0,0206	0,209	87,3	0,0612	0,155	36,0	3,5658	3,780
59	Страны с доходом выше среднего на душу населения	0,0070	0,193	88,4	0,0111	0,203	35,2	1,7136	2,461
60	Страны с доходом ниже среднего на душу населения	0,0001	0,231	99,0	0,0045	0,111	19,3	0,4574	1,662
61	Страны с низким доходом на душу населения	0,0001	0,344	24,7	0,0012	0,630	0,4	-0,3188	0,525
62	Страны со средним доходом на душу населения	0,0037	0,166	99,0	0,0133	0,175	19,6	1,2093	2,097
63	США	0,0285	0,212	85,0	0,0453	0,221	35,2	3,9243	4,008
64	Таджикистан	0,0251	0,211	26,7	0,0010	0,309	0,1	-0,2643	0,856
65	Таиланд	0,0001	0,244	99,0	0,0038	0,107	94,8	1,5065	2,627
66	Туркмения	0,0001	0,433	29,3	0,0010	0,209	3,4	1,3139	2,159
67	Турция	0,0102	0,130	113,4	0,0083	0,039	100,0	2,0988	3,043
68	Украина	0,0059	0,260	88,3	0,0088	0,060	100,0	0,7495	2,414
69	Филиппины	0,0085	0,322	48,2	0,0010	0,204	67,8	0,8370	1,801
70	Финляндия	0,0140	0,344	89,3	0,0475	0,692	31,3	3,6738	3,799

Таблица П2. Окончание

71	Франция	0,0093	0,348	83,3	0,0324	0,290	45,5	3,5295	3,740
72	Хорватия	0,0159	0,227	80,1	0,0641	0,373	25,6	2,4150	3,173
73	Чехия	0,0155	0,298	80,3	0,0404	0,207	35,8	2,6976	3,478
74	Чили	0,0129	0,161	99,0	0,0311	0,071	29,1	2,3322	3,020
75	Швейцария	0,0256	0,278	90,5	0,0716	0,238	45,9	4,3440	4,167
76	Швеция	0,0162	0,447	91,0	0,1126	0,111	39,5	3,7899	3,844
77	Эстония	0,0258	0,231	89,3	0,0886	0,176	31,9	2,6820	3,299
78	ЮАР	0,0006	0,320	72,5	0,0310	0,404	2,5	1,6824	2,557
79	Южная Корея	0,0307	0,316	91,7	0,1157	0,002	45,7	3,0622	3,483
80	Япония	0,0181	0,303	89,1	0,0571	0,191	33,7	3,4817	3,651
	Коэффициенты корреляции	0,647	-0,07	0,514	0,640	-0,156	0,279

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица ПЗ – Сравнение моделей распространения интернета для групп стран (*p-значение<0,01; **p-значение<0,05)

Параметр	Базовая модель	Логарифм ПИИ	Логарифм ВВП на душу населения в постоянных ценах 2017 г.	Доля городских жителей в населении страны	Доля экспорта высокотехнологичной продукции в ВВП, %	Плотность населения	Доля безработных
Страны с высоким уровнем дохода на душу населения							
L	0,832*	0,121*	0,215*	0,010*	0,042*	0,024*	14,281*
b	59,51*	28,93**	59,570*	61,530*	72,795*	69,572*	24,06**
k	0,31*	0,246*	0,313*	0,317	0,302*	0,336*	0,200*
R ²	0,988	0,962	0,990	0,989	0,986	0,991	0,872
ESS	0,038	0,122	0,032	0,034	0,044	0,027	0,380
Страны с низким уровнем дохода на душу населения							
L	0,337	0,26**	0,714*	0,014**	0,202	0,01**	5,216*
b	113,807	2316,98*	1026,03*	511,76*	3258,2	347,82*	4011,9**
k	0,150*	0,226*	0,212*	0,189*	0,224*	0,178*	0,297*
R ²	0,883	0,993	0,998	0,985	0,909	0,987	0,995
ESS	0,0116	0,0007	0,0002	0,0015	0,0075	0,0013	0,0005
Страны с уровнем дохода ниже среднего на душу населения							
L	1,867	0,133	2,647	0,038	0,033*	0,013	10,254*
b	729,27*	51,55**	958,14	463,75*	51131,3	428,53*	502,72*
k	0,174*	0,128**	0,144**	0,165*	0,506*	0,160*	0,225*
R ²	0,993	0,922	0,991	0,993	0,977	0,993	0,993
ESS	0,0032	0,0337	0,0040	0,0031	0,0094	0,0031	0,0029
Страны со средним уровнем дохода на душу населения							
L	0,682*	0,134*	0,274*	0,012*	0,027*	0,009*	9,478*
b	238,06*	49,45*	135,66*	175,84*	258,31*	181,42*	425,91*
k	0,216*	0,136*	0,200*	0,213*	0,240*	0,214*	0,268*
R ²	0,991	0,967	0,991	0,992	0,992	0,992	0,995
ESS	0,008	0,030	0,008	0,007	0,006	0,007	0,004
Страны с уровнем дохода выше среднего на душу населения							
L	0,741*	0,134*	0,256*	0,011*	0,030*	0,016*	11,243*
b	348,86*	186,36*	233,21*	291,11*	272,62*	326,2*	760,61*
k	0,266*	0,227*	0,261*	0,273*	0,265*	0,272*	0,322*
R ²	0,995	0,995	0,995	0,996	0,993	0,995	0,998
ESS	0,010	0,009	0,009	0,008	0,011	0,009	0,004

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Расчет приближенного решения для волнового уравнения (4.10) состоит в получении решений для уравнений (4.12) и (4.13). Уравнение (4.12) перепишем в виде:

$$\begin{aligned}\frac{dg_0}{d\tau} &= (p + qg_0)(1 - g_0) \\ \frac{dg_0}{(p + qg_0)(1 - g_0)} &= d\tau \\ \frac{qdg_0}{p + qg_0} + \frac{dg_0}{1 - g_0} &= (p + q)d\tau \\ \ln(p + qg_0) - \ln(1 - g_0) &= (p + q)\tau + c \\ \frac{p + qg_0}{1 - g_0} &= ce^{(p+q)\tau} \\ \frac{p + q}{1 - g_0} &= ce^{(p+q)\tau} + q \\ g_0 &= \frac{ce^{(p+q)\tau} - p}{ce^{(p+q)\tau} + q}\end{aligned}$$

Из условия $g_0(0)=\lambda$ получаем выражение для $c=(p+\lambda q)/(1-\lambda)$ и для g_0

$$g_0 = \frac{(p+\lambda q)e^{(p+q)\tau} - (1-\lambda)p}{(p+\lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1-\lambda)q} \quad (\text{П2.1}).$$

Для уравнения (4.13) получаем выражение:

$$\frac{dg_1}{d\tau} - g_1(-q + 2qg_0 + p) = -g_0'' \quad (\text{П2.2})$$

Из условия (4.12) получаем, что $g_0' = qg_0^2 + pg_0 - qg_0 - p$ и $g_0'' = 2qg_0g_0' + pg_0' - qg_0'$, поэтому $g_0'' = g_0'(2qg_0 + p - q)$ и уравнение (П2.2) приводится к виду:

$$g_1' - g_1 \frac{g_0''}{g_0'} = -g_0'' \quad (\text{П2.3})$$

Сначала решается однородное уравнение:

$$g_1' - g_1 \frac{g_0''}{g_0'} = 0$$

Тогда $\frac{dg_1}{d\xi} = g_1 \frac{g_0''}{g_0'}$ и методом разделения переменных получаем

выражение

$$\frac{dg_1}{g_1} = \frac{g_0'' d\xi}{g_0'}$$

Или

$$\frac{dg_1}{g_1} = \frac{dg_0'}{g_0'}$$

Отсюда $\text{Ln} g_1 = \text{Ln} g_0' + \text{Ln} C$ или $g_1 = C(\xi) g_0'$. Если обозначить $g_0' = p$, то неоднородное уравнение (П2.3) примет вид:

$$C'p + Cp' - Cp \frac{p'}{p} = -p'$$

Откуда $C' = -\frac{p'}{p}$. Интегрируя выражение, получаем

$$C = -\int \frac{dp}{p} = C_1 - \text{Ln} p = C_1 - \text{Ln} g_0'.$$

Следовательно, $g_1 = (c - \text{Ln} g_0') g_0'$

Из (П2.1) находится производная для g_0 :

$$g_0' = \frac{(p+q)^2(p+\lambda q)(1-\lambda)e^{(p+q)\tau}}{((p+\lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1-\lambda)q)^2}$$

Используя условие $g_1(0) = \mu$, получаем выражение для g_1 :

$$g_1 = \left[\text{Ln} \frac{((p+\lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1-\lambda)q)^2}{(p+q)^2 e^{(p+q)\tau}} + \frac{\mu}{(1-\lambda)(p+\lambda q)} \right] \frac{(p+\lambda q)(p+q)^2(1-\lambda)e^{(p+q)\tau}}{((p+\lambda q)e^{(p+q)\tau} + (1-\lambda)q)^2}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица П5 - Оценка параметров модели (3.16) распространения мобильной связи по ФО Российской Федерации за период 2000-2008 гг. с разными «пространственными» переменными (*р-значение<0,01, **р-значение<0,05)

«Пространственные» переменные	Модуль скорости и волны	M	p	q	R ²	SSE	Количество наблюдений
Логарифм ВРП на душу населения ФО	0,869*	2,24*	0,29*	0,55*	0,925	1,376	70
ВРП на душу населения ФО/ВРП на душу населения Москвы	0,425	1,960	0,483	0,313	0,924	1,446	72
Доля затрат на НИОКР в ВРП ФО	1,204*	2,02*	0,48*	0,31*	0,945	1,050	72
Затраты на ИКТ на 1 занятого в ФО	3,223*	1,63*	0,49*	0,49**	0,904	1,229	56
Доля затрат на ИКТ в ВРП ФО, %	0,788*	1,74*	0,46*	0,60**	0,923	0,995	56
Доля городских жителей в общей численности населения ФО, %	17,3*	2,4*	0,363*	0,366*	0,950	0,945	72
Доля инновационно активных организаций в общем числе организаций ФО, %	799,5	1,73*	0,54*	0,327*	0,908	1,756	72
Доля затрат на НИОКР в ВРП ФО/доля затрат на НИОКР в ВРП Москвы, среднее за период	0,484*	2,01*	0,47*	0,29*	0,950	0,945	72
Доля затрат на НИОКР в ВРП ФО, среднее за период	1,087*	2,00*	0,472*	0,29*	0,948	0,993	72

Таблица П6 - Запаздывание распространения мобильной связи от показателей Москвы по федеральным округам России за период 2000-2009 гг. в зависимости от рассматриваемого «пространственного» показателя

Регион	Доля городских жителей %	Лет	ВРП на душу населения относительно показателя Москвы	Лет
Москва	100		1	
Центральный ФО	80,8	1,11	0,447	1,30
Северо-Западный ФО	83,0	0,98	0,365	1,49
Южный ФО	62,3	2,17	0,206	1,87
Северо-Кавказский ФО	49,6	2,91	0,121	2,07
Приволжский ФО	70,7	1,69	0,264	1,73
Уральский ФО	80,0	1,15	0,619	0,90
Сибирский ФО	72,8	1,57	0,290	1,67
Дальневосточный ФО	71,3	1,66	0,340	1,55
Скорость волны	17,34		0,43	